GUIDES STRRES | FABEM 6.2

> MAÇONNERIE

Réparation et renforcement des maçonneries

6.2

Réparation non-structurale



UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS
SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Le présent guide fait partie d'une collection de **quatre guides** intitulée **Réparation et renforcement des maçonneries.** Ces guides s'adressent aux **entrepreneurs** ayant à réaliser des **travaux de réparation et de renforcement d'ouvrages en maçonnerie** et de leurs fondations dans les domaines du **génie civil** et du **bâtiment** et, tout particulièrement, de ponts, murs de soutènement, piles et culées, aqueducs (structure porteuse et fondations) :

- FABEM 6.1 : *généralités et préparation des travaux,*
- FABEM 6.2 : *réparation non-structurale,*
- FABEM 6.3 : *réparation et renforcement structuraux,*
- FABEM 6.4 : *annexes.*

Ils peuvent s'appliquer à d'autres types d'ouvrages en maçonnerie (quais, tunnels…) sous réserve de tenir compte des particularités de ces structures et des documents techniques spécifiques existants. Ils concernent aussi les deux autres acteurs de l'opération que sont le **prescripteur** et le **contrôleur** (**maître d'œuvre** ou son représentant).

Dans ces guides sont traités :

- des documents de référence (ouvrages, guides, normes…) ;
- de l'évolution de la conception et du calcul des voûtes et murs en maçonnerie ;
- des désordres des matériaux (pierres, briques, mortiers), des fondations, des structures avec leurs causes ;
- des opérations connexes comme le nettoyage, la dévégétalisation et la préparation des surfaces ;
- de la réalisation des ouvrages provisoires (étaiements et cintres pour la mise en sécurité, ponts et passerelles provisoires de rétablissement des circulations…)
- des travaux sur les parements comme le rejointoiement, la reconstitution des pierres et des briques, la mise en œuvre de revêtements de protection… ;
- des travaux sur les fondations et les structures comme l'injection des maçonneries, la mise en place de tirants d'enserrement, la réalisation de contre-voûtes, la reconstruction totale ou partielle… ;
- des travaux d'élargissement par le dessus ou d'augmentation du débouché… ;
- des travaux de protection contre les eaux en provenance de diverses origines…

L'introduction des guides insiste sur l'importance à accorder aux **études** et **investigations** pour aboutir à un **confortement efficace et durable.**

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011



Les trois intervenants,

SOMMAIRE

Sommaire

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Comme **l'introduction commune** à l'ensemble des **GUIDES du STRRES** le rappelle, l'expérience montre que les opérations de réparation et de renforcement de structures en maçonnerie ne sont pas toujours couronnées de succès. **Dans un certain nombre de cas, soit les réparations ne tiennent pas, soit de nouveaux désordres apparaissent à proximité des réparations, soit il se produit lors des travaux des dérapages dans les quantités et les coûts et parfois même l'effondrement partiel ou total de la structure.** Toutes ces déconvenues sont, le plus souvent, dues à la **faiblesse du diagnostic** lors des études préliminaires et aussi à la **non mise en sécurité de l'ouvrage** avant travaux.

En effet, certains **maîtres d'ouvrage** croient qu'il suffit de traiter les **désordres apparents** (par exemple, la reprise des joints dégradés, le remplacement des pierres endommagée, le rebouchage des fissures…) pour résoudre les problèmes et, qu'en conséquence, les **études préliminaires** portent uniquement sur le **relevé des désordres visibles** et sur le **métré** qui s'y rapporte.

Il a donc été décidé de rappeler dans le **chapitre 3.3** du **guide «Généralités et préparation des travaux» [FABEM 6.1] les étapes incontournables du processus à suivre pour aboutir à une action de réparation et/ou de renforcement** qui ont été développées dans le **guide FABEM 1.**

AVERTISSEMENT

Les quatre guides «maçonneries» ont été rédigés dans l'optique de la mise en œuvre d'une opération de réparation ou de renforcement de maçonneries lourde et complexe. Pour des chantiers de moindre importance, ils peuvent être adaptés, mais sans oublier les conséquences qui résulteraient d'une mauvaise exécution. Il est indispensable que soient respectés les exigences des normes et autres documents visés en référence et dans les annexes.

1. PREMIER CAS

La méthode à mettre en œuvre pour la réparation et/ou le renforcement a été fixée à la suite d'une étude qui a porté sur la recherche des causes des désordres et la mise au point d'un projet de réparation ou renforcement. Il reste à choisir les matériaux et produits, le matériel de mise en œuvre, à réaliser les travaux et à contrôler l'ensemble de l'opération.

Lorsque la méthode est entièrement détaillée dans un des guides «maçonnerie», il faut suivre ses indications à toutes les étapes de l'opération, sachant que, si nécessaire, il renvoie aux autres **guides du STRRES**, voire à d'autres documents.

2. DEUXIÈME CAS :

La structure présente des désordres dont les causes restent floues et, bien entendu, la technique à mettre en œuvre n'est pas fixée. Dans un tel cas, il faut se reporter aux différents paragraphes et annexes des **guides «maçonnerie»** avec, si besoin est, l'aide du **guide FABEM 1**, qui décrivent :

- la conception et les principes de fonctionnement des ouvrages voûtés et des ouvrages de soutènement ;
- les différentes méthodes de calcul des ouvrages voûtés et des ouvrages de soutènement ;
- les différents désordres et leurs causes ;
- la méthodologie de réalisation d'une expertise pour aboutir à un diagnostic et un pronostic;
- la consistance d'un projet de réparation ou de renforcement ;
- les différentes techniques de réparation ou de renforcement à mettre en œuvre en fonction des désordres constatés et de leurs causes…

> Liste des différents travaux de réparation et/ou renforcement ainsi que des opérations connexes préliminaires ou finales traités dans guides «maçonnerie» :

• dans le guide «Généralités et préparation des travaux» [FABEM 6.1] :

- opérations connexes et finales :
    - dévégétalisation,
    - nettoyage et préparation des parements et parois (pierres et briques),
    - nettoyage final des parements, parois, lieux… après travaux ;

• dans le guide «Réparation non-structurale» [FABEM 6.2] :

- travaux sur les parements :
    - jointoiement et rejointoiement,
    - joints de dilatation ou de fractionnement,
    - reconstitution des parements en pierres naturelles et en briques,

- enduits de protection des parements et parois,
- revêtements de protection des parements et parois ;

■ travaux sur les fondations et structures :
- remplacement du remblai des voûtes et murs – Réfection des couches d'assise et de surface des chaussées,

■ travaux de protection contre les eaux :
- recueil et drainage des eaux de surface,
- drainage des eaux infiltrées,
- réalisation des supports de chape et des chapes d'étanchéité,
- traitement des remontées d'humidité.

• **dans le guide «Réparation et renforcement structuraux» [FABEM 6.3] :**

■ travaux sur les fondations et structures :
- reconstruction partielle ou totale de parties d'ouvrages après rescindement des parties endommagées,
- réparation et/ou renforcement des fondations,
- réparation et/ou renforcement structural des maçonneries par injection,
- réparation et/ou renforcement structural par broches ou épingles, boulons d'ancrage et tirants d'enserrement,
- réparation structurale et/ou renforcement structural par :
  . contre-voûtes,
  . contre-murs,
  . ceinturages,
  . réglages de la poussée.

■ travaux d'élargissement et d'augmentation du débouché ;

> Chaque méthode de réparation et/ou de renforcement est explicitée en respectant, dans la mesure du possible, la présentation type suivante :

1. Généralités – Domaine d'application ;

2. Documents de référence ;

3. Études préalables - Désordres et causes (rappels succincts avec renvois à la partie consacrée à l'étiologie dans le guide FABEM 6.1 [symptômes et causes]) – Choix de la technique de réparation et/ou renforcement ;

4. Choix des produits et matériaux ;

5. Matériels à utiliser ;

6. Préparation et exécution des travaux ;

7. Essais et contrôles ;

8. Réception des travaux.

> La réparation ou le renforcement d'un ouvrage en maçonnerie impose, dans la plupart des cas, de faire appel à plusieurs méthodes à la fois. Par exemple, dans le cas d'un pont voûte, il est souvent nécessaire de :

- dévégétaliser l'ouvrage ;
- nettoyer les parements ;
- rejointoyer la maçonnerie ;
- injecter la maçonnerie pour reconstituer le mortier de hourdage ;
- enserrer les bandeaux ;
- réaliser une nouvelle chape d'étanchéité ;
- réaménager les équipements…

Pour effectuer ces différentes opérations, il est fait appel aux **méthodes décrites dans les guides.** L'attention est attirée sur l'importance de réaliser toutes les opérations nécessaires, de coordonner l'exécution des différentes méthodes, qui doivent être effectuées dans un certains ordre, dans certaines conditions climatiques, avec ou sans possibilité de décalage dans le temps…, afin de ne pas provoquer **l'apparition de nouveaux désordres ou de rendre les réparations ou le renforcement peu durables.**

> Exemples d'erreurs à ne pas commettre :

- réaliser une contre-voûte et refaire les joints sans s'assurer de l'efficacité de l'étanchéité et du drainage car, dans ce cas, le pont devient une véritable «piscine»;
- remettre en état toute la superstructure d'un pont sans s'être assuré de l'état des fondations ;
- réaliser un enduit sur les parements d'un mur en maçonnerie alors que celle-ci est affectée par des remontées capillaires…

1

Rejointoiement

Dans une maçonnerie, le **mortier de hourdage** assure la liaison entre les pierres, moellons et briques. Il doit remplir tout l'espace et transmettre les efforts. En surface, il est complété par le joint dont le mortier est plus richement dosé.

Le joint, outre le fait qu'il homogénéise l'ensemble de la maçonnerie, permet, d'une part, la continuité mécanique des efforts transmis, en protégeant le hourdage et, d'autre part, assure une certaine étanchéité du parement.

La figure ci-après indique les **principaux types de joints**. Certains de ceux-ci, comme les **joints saillants**, sont à éviter si la maçonnerie est exposée aux ruissellements.

En maçonnerie de pierres de taille et de moellons, il faut privilégier les joints plats, les joints plats légèrement en creux (2 à 3 mm) et les joints formant glacis.

En maçonnerie de briques, il faut privilégier les joints plats légèrement en creux et les joints formant glacis. Le joint 4, s'il est trop creux, a des bords trop minces facilement dégradables. Dans le cas de l'opus incertum, le joint 5 a un bon comportement s'il est bien exécuté.

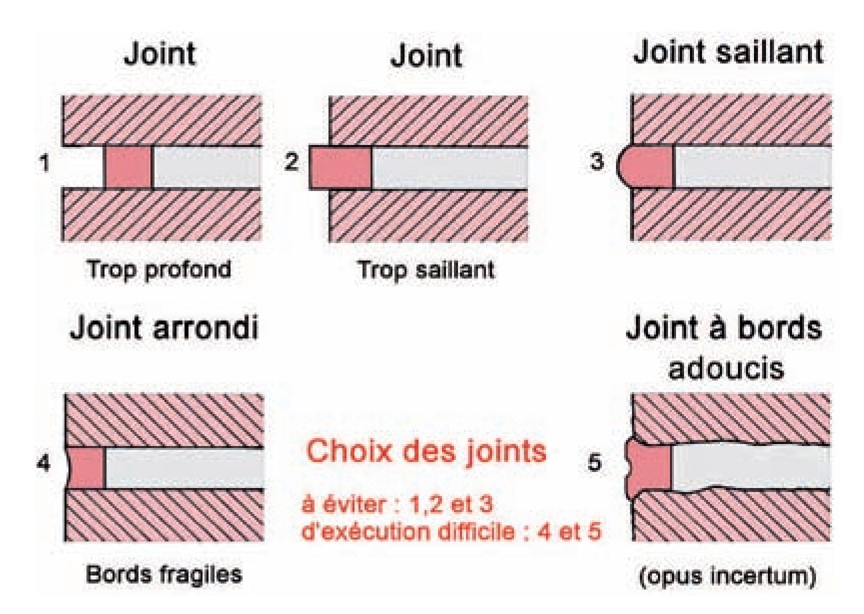


Figure n° 1 : joints à éviter ou d'exécution difficile



Photo n° 1 : joints saillants et joints à bords adoucis *(crédit photo D. Poineau)*

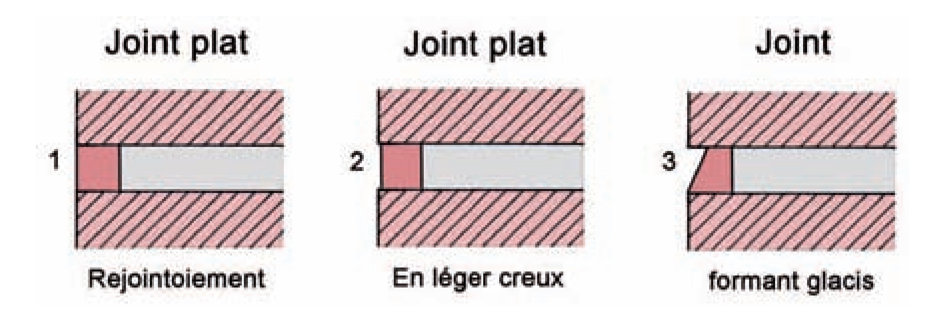


Figure n° 2 : joints à privilégier

REMARQUE : *dans le domaine du bâtiment, il est indispensable que les murs extérieurs ne puissent pas être traversés par l'eau de pluie. Cependant, ils doivent être perméables à la vapeur d'eau. Il existe donc des dispositions particulières à respecter en fonction de l'exposition et, en particulier, des épaisseurs minimales de murs (cf. le **DTU 20.1**). De plus, si la tête du mur est exposée à la pluie, elle doit être munie d'un chaperon.*

Dans le domaine des ouvrages d'art, *il est rare de procéder à un véritable rejointoiement, car la dégradation des joints est souvent profonde et le rejointoiement assure très souvent la réfection partielle du hourdage.*

Les travaux de rejointoiement *doivent être effectués avant ceux **d'injection** si la consolidation de la maçonnerie en profondeur est nécessaire. Dans ce cas, il faut mettre en place des **évents** et laisser quelques joints ouverts pour permettre l'évacuation de l'air et la sortie du coulis d'injection. Cette précaution permet de contrôler l'efficacité de l'injection.*

Lorsque les travaux de rejointoiement concernent à la fois l'extrados et l'intrados d'une voûte, *il faudrait commencer par rejointoyer l'extrados et attendre l'essorage de la maçonnerie pour commencer le rejointoiement de l'intrados afin d'éviter d'emprisonner de l'eau dans la maçonnerie. Cette façon de procéder dissymétrise le fonctionnement de la voûte, ce qui peut nuire à sa stabilité. La solution est de ne pas fermer, provisoirement, tous les joints de l'intrados pour permettre le drainage de la maçonnerie.*

ATTENTION, *le rejointoiement d'un mur en retour, d'un mur en aile, d'un mur de soutènement… concerne aussi bien les **parties visibles** au-dessus du terrain naturel que les **parties enterrées.** Ne traiter que les parties aériennes risque de provoquer l'apparition de désordres par remontées d'humidité.*

La remise en état des dispositifs de drainage et de la chape d'étanchéité *est indispensable en cas de rejointoiement pour éviter, par exemple, la transformation d'un pont en piscine…*

Il est très important de faire procéder aux **investigations** pendant la **période des études préalables.** Pour ce faire, des prélèvements et des essais sont à réaliser afin de déterminer les causes des désordres, l'état et les caractéristiques des joints mais aussi du mortier de hourdage. Il faut être conscient que le rejointoiement va avoir les trois effets suivants :

1. Le rejointoiement modifie le transfert des charges

Si les désordres ne concernent que les joints, un rejointoiement suffit. Par contre, **si le mortier de hourdage est endommagé,** il faut le conforter lors du rejointoiement et prévoir en supplément **une injection de régénération.** En l'absence d'injection, les efforts vont se déplacer vers les pierres du parement (zone devenue plus résistante que le reste) ce qui va entraîner, par excès de compression, l'éclatement de ces pierres.

Dans le cas où les désordres mettent en jeu la stabilité de la maçonnerie (bombement, effondrement partiel…) il faut prévoir la **reconstitution locale de la maçonnerie,** précédée d'un rescindement (démolition partielle) ou d'une déconstruction.

2. Le rejointoiement modifie la perméabilité

Les circulations des eaux et des gaz dans les maçonneries vont être modifiées. Il faut éviter d'emprisonner de l'eau en améliorant l'efficacité de la chape d'étanchéité, en captant et en drainant les eaux de ruissellement. Par ailleurs, les mortiers doivent être perméables à la vapeur d'eau, ce qui impose l'utilisation de mortiers bâtards ou à base de chaux de type hydraulique.

> Lorsque les dégradations des joints sont essentiellement cantonnées juste au-dessus du sol, il faut suspecter :

- soit les effets du **rejaillissement des eaux de pluie,** dont les conséquences sont la dissolution, l'érosion et le gel du mortier du joint ;
- soit, ce qui est plus grave, des **remontées d'humidité et de sels** (ces remontées peuvent aussi concerner les ouvrages en site aquatique).

Les remontées d'humidité et de sels doivent être traitées avant de procéder au rejointoiement, sinon la hauteur des remontées va augmenter et de nouveaux désordres vont se manifester.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

> ***Rappel :*** *l'eau peut aussi s'infiltrer par le haut : c'est le cas, par exemple, d'un mur en l'absence d'un couronnement où si ce dernier n'est pas étanche.*

Les deux photos ci-après montrent, d'une part, les désordres du bas d'un mur sous les effets des rejaillissements et des remontées capillaires et, d'autre part, des décollements de l'enduit d'un mur dus aux infiltrations d'eaux par le couronnement du mur non protégé.



Photo n° 2 : effets des eaux à la base d'un mur et sur l'enduit d'un autre *(crédit photo D. Poineau)*

3. Le rejointoiement rigidifie le parement

Si un diagnostic exhaustif n'a pas été réalisé pour déterminer toutes les insuffisances structurelles, dès la fin du rejointoiement, les mouvements et déformations d'origine pathologiques qui vont se produire entraineront l'apparition de réseaux de fissures caractéristiques et imposeront des réparations supplémentaires.

> Les photographies ci-après montrent des exemples de désordres dans des joints allant jusqu'à la désorganisation de la maçonnerie.



Photo n° 3 : désorganisation des joints et rejointoiement bricolé *(crédit photo D. Poineau)*

NOTA : la photographie ci-dessus montre la disparition des joints mais aussi un mauvais rejointoiement.

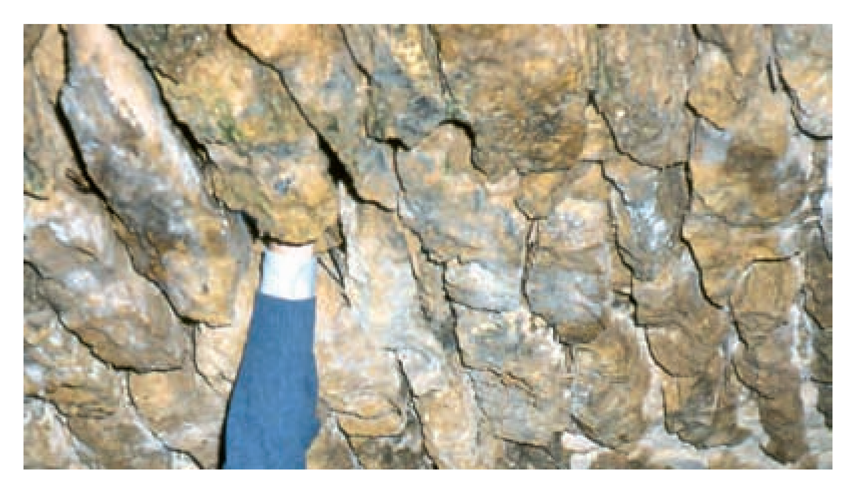


Photo n° 4 : disparition des joints et du mortier de hourdage *(crédit photo J.L. Michotey)*



Photo n° 5 : désorganisation des joints et de la pierre *(crédit photo J.L. Michotey)*



Photo n° 6 : désorganisation des joints, de la pierre et coulures de calcite *(crédit photo J.L. Michotey)*

La reconnaissance préalable doit permettre de métrer les surfaces à traiter, la profondeur de dégarnissage des joints et de déterminer si la destruction des joints existants plus ou moins endommagés est facile ou non. Cette reconnaissance doit aussi permettre de détecter la présence des racines à traiter (se reporter au paragraphe consacré à la dévégétalisation **[FABEM 6.1]**).

Cette reconnaissance a également pour but de déterminer la ou les **méthodes de nettoyage** ou de **préparation de surface préalable(s)** au rejointoiement.



Photo n° 7 : présence de racines *(crédit photo Cofex Littoral)*

Cette reconnaissance préalable des joints défectueux doit être accompagnée par des sondages, afin de s'assurer da la qualité du mortier de joint sur une profondeur pouvant aller jusqu'à l'épaisseur totale de la première rangée de pierres ou de briques. Il faut être attentif à l'effet de «croûte», c'est-à-dire un joint où la surface extérieure est relativement dure et où l'arrière immédiat, souvent sur une grande profondeur, est de très mauvaise qualité.

Des prélèvements sont à effectuer pour connaître la nature et les caractéristiques des pierres et aussi des liants qui ont servi pour la confection des mortiers des joints et du hourdage, de façon à éviter des incompatibilités lors du rejointoiement. Les remontées d'humidité et la présence de sels solubles sont à détecter.

Avant tout travaux de refouillement des joints, **l'entrepreneur** et le **maître d'œuvre** procèdent à un **relevé contradictoire** (plans et photos) de l'état de la maçonnerie, tout particulièrement pour la maçonnerie de brique dont les arêtes sont très fragiles. **Le marché** fixe les règles à appliquer dans le cas où le dégarnissage provoque des épaufrures, des fissures, des cassures de pierres ou de briques.

ATTENTION : *les joints secs d'un mur en pierres sèches ne peuvent être remplis que si une étude démontre* ***la stabilité du mur après travaux*** *et à condition de réaliser les* ***dispositifs de drainage nécessaires.*** *Dans le cas contraire, il y a* ***DANGER D'EFFONDREMENT*** *sous la poussée des terres et des eaux d'infiltration.*

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Un mortier de rejointoiement inadapté provoque des altérations de la pierre alors qu'un mortier adapté donne des résultats satisfaisants. Les deux photos ci-après, prises sur le même édifice, montrent les conséquences d'un choix d'un mortier inadapté ou adapté au rejointoiement.



Photo n° 8: conséquences d'un rejointoiement bâclé et avec un mortier inadapté *(crédit photo D. Poineau)*



Photo n° 9 : utilisation d'un mortier adapté au rejointoiement *(crédit photo D. Poineau)*

1.3 Choix des matériaux pour le rejointoiement

1.3.1 LIANTS

Se reporter au guide STRRES FABEM 6.1 – chapitre 6.2 qui liste les différents liants utilisables. Le choix du liant doit assurer la compatibilité de couleurs et d'aspect des nouveaux joints avec ceux de la maçonnerie existante mais aussi éviter toute incompatibilité entre les matériaux existants et le mortier de rejointoiement.

1.3.2 SABLE

Se reporter guide STRRES FABEM 6.1 – chapitre 6.2. Le sable de granularité (0/3) à utiliser doit être tamisé, lavé et d'origine alluvionnaire et sa couleur doit être la plus proche possible de la pierre d'origine ou de celle qui a été fixée au **marché.**

1.3.3 EAU DE GÂCHAGE

Se reporter guide STRRES FABEM 6.1 – chapitre 6.2. Il est conseillé d'utiliser de l'eau potable qui est réputée conforme à la norme, en particulier pour des raisons de régularité de teinte du mortier.

1.3.4 ADJUVANTS

Se reporter guide STRRES FABEM 6.1 – chapitre 6.2.

1.3.5 AJOUTS

Se reporter guide STRRES FABEM 6.1 – chapitre 6.2.

1.3.6 COMPATIBILITÉ DES MATÉRIAUX

Se reporter guide STRRES FABEM 6.1 – chapitre 6.2.

1.3.7 MORTIERS PRÊTS À L'EMPLOI (rappels)

Les mortiers prêts à l'emploi proposés par les fabricants ne sont pas normalisés.

Les mortiers prêts à l'emploi à base de liants hydrauliques modifiés et conformes à la norme **NF EN 1504-3** sont trop performants vis-à-vis du mortier de hourdage existant. Ils ne doivent pas être utilisés pour le rejointoiement des maçonneries.

1.3.8 DOSAGE DU MORTIER DE REJOINTOIEMENT

Les dosages des mortiers de rejointoiement différent de ceux des mortiers de hourdage. Suivant la profondeur de dégarnissage, le dosage est différent ainsi que les techniques de mise en place (manuelles, semi-manuelles ou mécaniques). Les dosages sont à adapter à la résistance du mortier de hourdage existant de façon à ne pas créer de points durs, tout particulièrement si la réparation est localisée à une partie de la construction.

> dosage du mortier bâtard de rejointoiement par la méthode traditionnelle (fermeture du joint sur une profondeur réduite) :

- 400 à 500 kg de liant par m^3 de sable avec 1/3 de ciment et 2/3 de chaux hydraulique;

> dosage du mortier bâtard de matage (bourrage manuel des joints sur une profondeur importante qui doit être suivi d'un rejointoiement traditionnel) :

- jusqu'à 600 kg de liant par m^3 de sable avec 1/3 de ciment et 2/3 de chaux hydraulique;

> dosage du mortier mis en place par voie sèche (remplissage des joints sur une profondeur importante) :

- le dosage en liant du mortier une fois mis en place doit être de l'ordre de 400 à 500 kg/m^3 de sable.

> dosage du mortier mis en place par voie mouillée (remplissage des joints sur une profondeur importante) :

- le dosage en liant du mortier à mettre en place doit être de l'ordre de 400 à 500 kg/m^3 de sable.

1.4 Matériel nécessaire

- Outils classiques du maçon pour refouiller les joints, mettre en place le mortier et assurer la finition du joint.
- Outil pneumatique, hydraulique ou électrique pour dégarnir les joints, sous forme d'un marteau burineur équipé d'une pointerolle, d'un burin de chasse adaptée…
- Pompe à haute pression et lance pour le nettoyage des parements et le dégarnissage des joints à l'eau sous pression.
- Matériels de projection par voie sèche ou mouillée adaptés à la quantité de mortier à mettre en place dans les joints. Les machine à projeter à vis sont bien adaptées au garnissage des joints et remplacent efficacement les pots à pression qui peuvent être utilisés pour des ragréages de faible importance.

Se reporter aux **guides FABEM 1, 4 et 5 qui détaillent les matériels visés ci-dessus.**

À ces matériels s'ajoutent les écrans de protection contre les intempéries ou le soleil et contre les projections aux alentours (sont concernés les parties déjà traitées, les tiers et riverains).

1.5.1 DÉGARNISSAGE DES JOINTS

- le dégarnissage des joints existants s'effectue, en principe, sur une profondeur minimum égale à environ 2,5 fois l'épaisseur du joint ;
- ce travail est exécuté au marteau burineur, bédane ou pointerolle mécanique (pneumatique, hydraulique ou électrique) équipé d'un burin dont la «chasse» est à adapter à l'épaisseur du joint à traiter ainsi qu'à la qualité du mortier à éliminer. Cette opération est souvent très délicate, en particulier sur la maçonnerie de brique, dont les bords sont très fragiles ; le recours à une meuleuse d'angle permet de limiter les épaufrures ;
- le dégarnissage à l'eau sous pression peut également être utilisé sous réserve d'une parfaite maîtrise de la pression du jet pour ne pas déstabiliser le hourdage des maçonneries. Dans ce cas, un bon essorage efficace est nécessaire avant le garnissage des joints ;
- à noter que le but de ce dégagement est bien d'éliminer toute la partie de mortier restant entre les pierres ou les briques qui ne présente plus la qualité mécanique ou physico-chimique requise pour assurer une liaison parfaite ;
- **un calage provisoire** est à **mettre en place** (utilisation de cales et de coins en chênes) dans les zones de joints dégarnis dont la stabilité est suffisamment douteuse pour risquer de voir se désorganiser les pierres environnantes. A ce propos, pour les zones où la structure est particulièrement sollicitée, **il faut normalement éviter de dégarnir plus de joints que la capacité de l'entrepreneur ne peut en jointoyer dans un poste continu de travail ;**
- le dégarnissage se termine par un soufflage à l'air (7 bars maximum) et une humidification à saturation (sans ruissellement). Les parois intérieures du joint doivent être le plus propre possible afin de favoriser l'adhérence du mortier. Cette humidification se fait 24 heures avant le rejointoiement.

1.5.2 PRÉCAUTIONS À PRENDRE LORS D'UN REJOINTOIEMENT TRADITIONNEL OU MÉCANISÉ

Il faut éviter la dessiccation du mortier. Il faut donc protéger la partie en cours de rejointoiement du vent et du soleil et travailler dans une plage de températures raisonnable (entre 5 et 30°C).



Photo n° 10 : dégarnissage des joints au marteau pneumatique au pont des Abarines *(crédit photo CG du Gard)*



Photo n° 11 : dégarnissage des joints de l'extrados au pont des Abarines *(crédit photo CG du Gard)*

1.5.3 REJOINTOIEMENT TRADITIONNEL

La forme et la finition des joints sont proposées par **l'entrepreneur** sauf si le **marché** l'impose.



Photo n° 12 : finition à la brosse au pont des Abarines *(crédit photo CG du Gard)*

Le rejointoiement traditionnel est visé par l'article 21 du **fascicule 64 du CCTG.** Il est conseillé lorsque les joints sont étroits (moins de 1 cm) et lorsque les dégradations des joints ne concernent que de petites surfaces.

Le rejointoiement est exécuté après le dégarnissage en partant **«du haut vers le bas»** de façon à limiter les projections et salissures, de préférence à l'aide d'un mortier un peu ferme que l'on serre fortement contre la maçonnerie avec une langue de chat. Puis, il faut ôter les bavures et laisser le mortier rejeter son eau et prendre un peu de consistance.

Ensuite, lorsqu'une **étanchéité des joints** est recherchée, il faut lisser plusieurs fois le joint avec un fer jusqu'à ce que les gerçures qui se forment par retrait de dessiccation disparaissent.

La finition de surface peut également se faire à l'éponge ou à la brosse après un durcissement suffisant du mortier du joint.

Cette opération est suivie d'une cure soignée par humidification et mise en place de protection contre le vent et le soleil.

Lorsque le mortier de hourdage est endommagé, il faut utiliser un mortier plus sec pour pouvoir le serrer fortement et ainsi mettre «en charge» la maçonnerie. Après mise en place d'une première couche en fond de joint, il faut mettre en place plusieurs couches de mortier d'environ 2 cm d'épaisseur, à serrer fortement au matoir de façon à bourrer la totalité du joint.

Ensuite, il faut procéder au dégarnissage du joint **«en montant»** et, lorsque cette opération est terminée, réaliser un rejointoiement traditionnel du haut vers le bas comme décrit ci-devant. Cette opération est analogue au **jointoiement en reprise** en travaux neufs.

1.5.4 REJOINTOIEMENT MÉCANISÉ

La forme et la finition des joints sont proposées par **l'entrepreneur** sauf si le **marché** l'impose.



***Photo n° 13 : remplissage des joint au moyen d'une buse par la voie mouillée basse pression** (crédit photo CG du Gard)*

> Avec cette technique, le mortier est, de préférence, mis en œuvre par projection mécanique, par voie mouillée :

- soit à l'aide d'un **«pot de projection»**[1] équipé d'un pistolet à débit variable dont le diamètre de la buse est adapté au volume et à la forme du joint à remplir. La buse est à maintenir à une distance constante du joint à remplir (environ une dizaine de centimètre) ;
- ou à l'aide d'une buse alimentée par une pompe à mortier basse pression à alimentation continue, qui permet d'obtenir des rendements nettement supérieurs au pot de projection.

La projection par voie sèche peut également être envisagée pour des joints de grandes dimensions et dans le cas où il est nécessaire que le mortier pénètre profondément.

[1] le pot de projection, qui a la forme d'un entonnoir, doit être rempli périodiquement de mortier (cf. le guide FABEM 4).



Photo n° 14 : remplissage des joints par voie sèche *(crédit photo J. L. Michotey)*

Le remplissage par voie mécanique se fait par petites passes successives, du fond vers le parement, de façon à remplir la cavité du joint de manière la plus homogène possible. Il faut veiller, lorsqu'on arrive au parement, à ne pas trop charger pour éviter que, par le poids excessif du mortier, celui-ci, se trouvant en léger encorbellement, ne se décolle et finisse par chuter.

Le mortier est arrêté au nu du parement de la pierre, sans effet de bourrelet et en s'assurant que le joint est parfaitement rempli sur toute son épaisseur (la continuité mécanique n'est assurée qu'à cette condition). La qualité du rejointoiement dépend de la qualité du remplissage du joint.



Photo n° 15 : rejointoiement de l'extrados du pont des Abarines *(crédit photo CG du Gard)*

La finition de surface du joint peut être effectuée comme dans le cas du rejointoiement manuel.



Photo n° 16 : travaux de finition au pont des Abarines *(crédit photo CG du Gard)*

1.5.5 FORME ET FINITION DE SURFACE DES JOINTS

Il est bon de rappeler qu'un mortier mis en œuvre dans de telles conditions (étroitesse du joint, porosité plus ou moins importante des matériaux contigus) est très sensible aux effets du retrait, en particulier. Pour s'en garantir, il faut éviter les méthodes qui favorisent les effets de succions, où l'eau est attirée par capillarité vers la surface extérieure du joint. Dans ce cas, le joint se durcit en surface (effet de croûte) au détriment de sa qualité arrière. Un lissage insistant, à la «langue de chat», peut donner un tel résultat.

Il faut utiliser une **méthode de finition** qui ne perturbe pas **la prise du mortier,** l'idéal étant de laisser le joint brut de projection, après remplissage. Pour des raisons esthétiques, il est, dans certains cas, nécessaire de finir le joint, soit en creux, soit en relief, brossé, coupé ou lissé. Toutes ces finitions devront donc être opérées au moment favorable (pendant la prise du mortier) pour assurer tout de même une bonne qualité du joint.

En génie civil, un joint peut être laissé brut de projection et, immédiatement après, être coupé à la truelle. Un léger lissage (sans insister) peut être accepté afin de fermer la surface du joint. Le coupage doit être fait, en remontant, au nu du parement ou légèrement en creux afin de favoriser l'effet goutte d'eau».

1.5.6 LES JOINTS, L'EAU ET LE GEL

Un mauvais remplissage permet la rétention d'eau. Le gel va pouvoir se loger dans cette «poche» ainsi formée et faire éclater les matériaux contigus,

Une autre précaution est également à prendre lorsque l'on réalise un travail de rejointoiement dans un pays où le gel est fréquent. L'eau, entrée par absorption depuis la surface et contenue dans l'ouvrage, n'a de cesse de vouloir ressortir. Il faut lui favoriser cette «sortie». Bien entendu le réseau de barbacanes joue ce rôle-là, mais il est bon de lui permettre de ressortir plutôt par les joints que par les pierres ou les briques, dans lesquelles l'effet du gel occasionnerait des dégâts pouvant aller jusqu'à la rupture. Pour cela, il faudra, dans ce cas, utiliser un mortier riche en chaux.

1.5.7 NETTOYAGE DE FINITION

Un nettoyage général est ensuite réalisé après le début du durcissement, en éliminant, à la brosse manuelle métallique ou en chiendent ou en nylon, les coulures de mortier ou de laitance sur les pierres ou les briques adjacentes.

Rappel : *sur les pierres ou les briques, un nettoyage trop énergique peut entraîner la fragilisation des matériaux.*

1.6.1 ÉPREUVE DE CONVENANCE

Une épreuve de convenance est exécutée par **l'entrepreneur** avant le début des travaux. Elle fait, sauf disposition contraire du **marché**, l'objet d'un **POINT D'ARRÊT** levé par le **contrôle extérieur,** au vu du respect des exigences du **marché** et de la **procédure d'exécution** et de l'aspect du joint fini.

La levée du **POINT D'ARRÊT** est conditionnée par la validation, par le **maître d'œuvre**, de **l'épreuve de convenance** de rejointoiement.

> Pour réaliser cette épreuve de convenance, plusieurs «planches d'essai de rejointoiement» sont à réaliser. Ce nombre est fonction de la position et de la forme de chaque partie de l'ouvrage à rejointoyer, le travail pouvant être à effectuer au plafond, sur une paroi verticale ou horizontale... Sur ces planches d'essais, l'entrepreneur exécute :

- la mise en place des protections contre les intempéries ou le soleil et aussi pour limiter les projections aux alentours ;
- le dégarnissage des joints ;
- le nettoyage, le dépoussiérage et l'humidification des joints ;
- le rejointoiement ;
- la finition de forme et de surface des joints ;
- la cure ;
- le nettoyage final.

Au cours de cette épreuve sont contrôlés les rendements, la qualité du travail effectué, le respect des exigences du **marché** en matière de couleurs et de finition de forme et de surface.

__Rappel :__ les contrôles lors __de l'épreuve de convenance__ portent aussi sur les produits, matériaux et composants, le matériel, la présence et la compétence du personnel d'exécution et la préparation du mortier.

1.6.2 CONTRÔLE D'EXÉCUTION

Le **contrôle** porte sur le respect de la **procédure** et la comparaison entre les rejointoiements en cours de réalisation et les résultats obtenues sur les planches d'essai.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Réception des travaux (pour mémoire) 1.7

Se reporter au chapitre 5.11 du guide FABEM 6.1.

2

Joints de dilatation et fractionnement

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEBROER 2011

2.1 Généralités

> Dans le domaine du bâtiment, le DTU 20.1 fixe un espacement des joints de dilatation et de retrait compris entre 20 m et 35 m suivant que la région est sèche et à fortes oppositions thermiques ou est humide et tempérée :

- 20 m dans les départements voisins la Méditerranée ;
- 25 m dans l'Est, les Alpes, le Massif Central et les Pyrénées ;
- 30 m en région parisienne ;
- 35 m dans l'Ouest.

Dans le domaine du génie civil, il n'y a pas de règles dans le fascicule 64 du CCTG, sauf dans son article 20 consacré à la construction des voûtes.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011



Dans le cas où des joints de dilatation ou de fractionnement existent, il faut les entretenir pour éviter le passage de l'eau et empêcher que des détritus viennent bloquer leur fonctionnement.

Le lecteur est invité à se reporter au **guide «traitement des fissures par : calfeutrement - pontage et protection localisée - création d'un joint de dilatation» [FABEM 2]** dans lequel il trouvera les exigences sur les matériaux à utiliser, les procédures de réalisation et les contrôles et essais à effectuer.

2.3 Réception des travaux (pour mémoire)

Se reporter au chapitre 5.11 du guide FABEM 6.1.

3

Reconstitution des parements en pierres et briques

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEBROER 2011

3.1 Domaine d'emploi

Il s'agit de travaux de réfection de zones d'aire limitée lorsque les dégradations n'intéressent que les éléments constituant le parement sur quelques centimètres de profondeur. Les dégradations ne concernent pas l'épaisseur totale de la maçonnerie.

Bien entendu, **il faut supprimer les causes des désordres** (réfection de la chape d'étanchéité et du drainage, suppression des remontées d'humidité et de sels…) avant de procéder à la reconstitution des parements.



Photo n° 17 : dégradations plus ou moins superficielles des pierres du bandeau d'un ponceau *(crédit photo D. Poineau)*

3.2.1 GÉNÉRALITÉS

> Il existe deux méthodes de restauration des pierres altérées :

- la méthode traditionnelle ;
- la méthode à base de mortiers de restauration ou de ragréage.

3.2.1.1 La méthode traditionnelle

- elle consiste à incruster un morceau de pierre naturelle en remplacement de la partie altérée (technique de réparation dite **«en tiroir»**). La substitution peut concerner la totalité de la longueur de la queue ou une partie de celle-ci ;
- cette technique de réparation donne à long terme un bon aspect, qui va se confondre avec le reste du parement de pierre naturelle.

3.2.1.2 La méthode à base de mortiers de restauration ou de ragréage

- elle consiste à remplacer les partie de pierres endommagées par un mortier de restauration de composition adaptée ;
- si la surface et l'épaisseur de la couche de mortier de réparation sont importantes, il faut armer le mortier et le coudre à la maçonnerie existante.
- le vieillissement des mortiers de réparation est forcément distinct de celui de la pierre naturelle. En conséquence, les zones réparées se remarquent assez rapidement.

3.2.2 ÉTUDES PRÉALABLES

Rappel : *il est très important de faire procéder aux* ***investigations*** *pendant la* ***période des études*** *préalables. Pour ce faire, des prélèvements et des essais sont à réaliser afin de déterminer les causes des désordres, l'état et les caractéristiques des pierres, des joints mais aussi du mortier de hourdage.*

Ces investigations ont également pour but de déterminer **la ou les méthodes de nettoyage ou de préparation de surface** préalable(s) à la reconstitution superficielle du parement en pierres naturelles.

3.2.3 CHOIX DES MATÉRIAUX

3.2.3.1 Méthode traditionnelle

Outre le choix esthétique de la pierre de réparation (origine, taille, couleur…), ses caractéristiques physico-chimiques sont déterminées en fonction, d'une part, de la qualité du support en pierre et, d'autre part, de sa situation environnementale en conformité à la norme **NF B 10-601** (se reporter au guide STRRES FABEM 6.1 – chapitre 6.2).

Les caractéristiques des mortiers de pose sont choisies pour éviter toute incompatibilité avec les pierres pour ne pas risquer de taches sur les parements. L'utilisation de sable roulé facilite la mise en place des pierres à remplacer.

3.2.3.2 Méthode à base de mortiers de restauration

La composition des mortiers de restauration ou mortiers de ragréage est en général complexe. Elle doit faire l'objet d'une étude préalable et d'essais de convenance. En général, ce sont des mélanges de liants (chaux aérienne ou hydraulique) avec de la poudre de pierre, des charges calcaires et siliceuses et des adjuvants dont les proportions sont déterminées par l'étude préalable, car il faut adapter la qualité intrinsèque du mortier de ragréage à celle de la pierre à réparer.

Il existe également des produits prêts à l'emploi pour reconstituer les pierres sur de fortes (jusqu'à une dizaine de centimètres) ou faibles épaisseurs. **Attention**, il faut choisir le produit adapté à la nature de la pierre (calcaire, siliceuse…), à sa dureté (pierre tendre, semi-ferme, dure…), à sa porosité, à sa couleur… et respecter les limites d'emploi.

Si des sculptures, bas-relief… sont à reproduire, il faut avoir recours à des produits spécifiques.

Ces mortiers de réparations sont soumis à des essais semblables à ceux effectués sur les mortiers de réparation du béton (voir la norme **NF EN 1504-3**). En particulier, sont contrôlés la résistance à la traction et à la compression, le module d'élasticité, l'adhérence, le coefficient de dilatation, la porosité et la perméabilité, la compatibilité thermique (à sec, sous pluie d'orage, au gel-dégel)

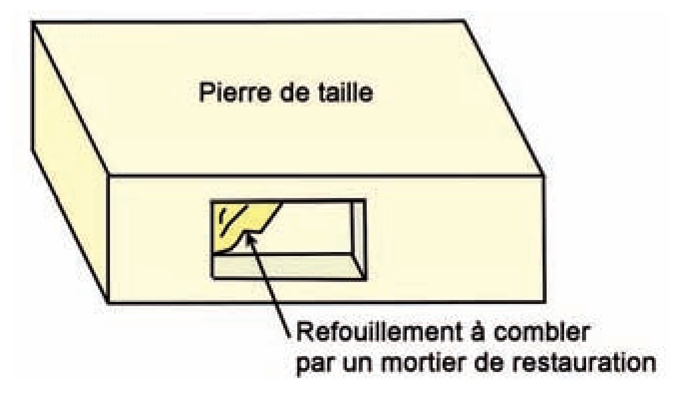


Figure n° 3 : exemples de réparations de petites épaufrures

Les mortiers à base de liant hydraulique ou bâtard peuvent convenir pour restaurer les maçonneries de pierre. Toutefois, il faut prendre de grandes précautions dans la mise en œuvre de mortier de chaux blanche hydraulique compte tenu de son fort retrait et gonflement (mettre en place par couches minces et resserrer les fissures de retrait).

ATTENTION : les mortiers à base de résine de synthèse, *compte tenu de leur coefficient de dilatation thermique très élevé (28 à 30.10^{-6} m/m/C°), près de trois fois celui des pierres, ne sont pas destinés à réparer la majorité des pierres naturelles dont les coefficients de dilatation thermique sont de l'ordre de 4 à 10.10^{-6} m/m/C°. Il se produit un cisaillement entre les matériaux support et le mortier de résine préjudiciable à la durabilité de la réparation. En outre, les résines peuvent empêcher les échanges hydriques entre la pierre et l'atmosphère, ce qui va provoquer la saturation en eau de la pierre et, en cas de gel, provoquer la destruction de la pierre.*

Néanmoins la durabilité des mortiers à base de résines de synthèse, leurs qualités mécaniques intrinsèques sont excellentes. ***Ces mortiers de résines peuvent être éventuellement utilisés pour restaurer les petites altérations ou les petites épaufrures de l'ordre de quelques centimètres carrés «réparation de dentiste !»****.*



Photo n°18 : réparation locale ancienne avec un mortier à base de ciment *(crédit photo D. Poineau)*



Photo n° 19 : réparation locale récente du soubassement de la Tour Saint-Jacques *(crédit photo D. Poineau)*



Photo n° 20 réparations locales anciennes de l'église de Saint-Germain l'Auxerrois *(crédit photo D. Poineau)*



Photo n° 21 : refouillement en sifflet inadapté pour une réparation locale *(crédit photo D. Poineau)*

Les quelques photos ci-dessus montre qu'il est difficile d'obtenir une **teinte identique** à celle de la pierre de base et que cette teinte n'est pas forcément stable dans le temps. Elles montrent également l'importance de la **géométrie du refouillement.**

3.2.4 MATÉRIELS À UTILISER

3.2.4.1 Méthode traditionnelle

Outils manuels classiques du maçon pour refouiller les joints, rescinder les pierres à remplacer partiellement ou en totalité, retailler les pierres pour les ajuster à l'emplacement disponible, mettre en place le mortier de hourdage, faire les joints, assurer leur finition et faire le nettoyage des parements remis en état.

Ces outils manuels peuvent être remplacés ou compléter par des outils pneumatiques, hydrauliques ou électriques permettant d'effectuer les opérations susvisées.

Si besoin est, pompe à haute pression et lance pour le nettoyage des parements et le dégarnissage des joints à l'eau sous pression.

3.2.4.2 Méthode à base de mortiers de restauration

> Aux outils manuels ou mécaniques nécessaires à la préparation du support :

- nettoyage des salissures ;
- repiquage des parties détériorées et sonnant creux pour obtenir une surface de reprise saine ;
- refouillement de la pierre pour obtenir des arêtes rectilignes ;
- nettoyage des refouillements et des évidements au moyen de : soufflette, brosse, pinceau…

> Il faut ajouter :

- les outils pour fixer les goujons et les fils pour armer la réparation (cas des épaisseurs > 2 cm), à savoir, perceuse, forets, marteau, maillet, pince coupante… ;
- les outils pour préparer les produits, à savoir, seau, auge, truelle, malaxeur pneumatique ou électrique…, sachant que le gâchage peut être manuel ou mécanique suivant les produits ;
- les outils de finition adaptés au traitement du parement des pierres (chemin de fer ou rabotin, sciotte, boucharde, smille, tétu, voire ciseaux, gouges, guillaumes [sorte de rabot pour moulures, arêtes…]) ;
- les outils susvisés pour le nettoyage des zones traitées, à savoir soufflette, brosse…

3.2.5 MODES OPÉRATOIRES

3.2.5.1 Méthode traditionnelle

- nettoyer les parements pour enlever toutes les salissures ;
- recouper la pierre jusqu'à l'obtention d'une surface de reprise saine (profondeur minimale d'une dizaine de centimètres ;
- humidifier la pierre et la laisser ressuyer, procéder de même pour la pierre de remplacement ;
- mettre en place le mortier de hourdage ;
- introduire en force la pierre dans son logement. Il faut s'assurer que le mortier reflue à la surface par tous les joints ; pour ce faire, la pierre (ou le moellon) est frappée et tassée au marteau ;
- enfoncer, si besoin est (cas de la pose au plafond), des cales en bois imbibées d'eau à saturation pour bloquer la pierre en position ;
- procéder à l'exécution des joints après raidissement du mortier et après avoir enlevé les cales ;
- réaliser les travaux de finition et de nettoyage comme dans une pose classique ;
- protéger les surfaces réparées des intempéries (vent, soleil, pluie et gel) pendant au moins deux jours.

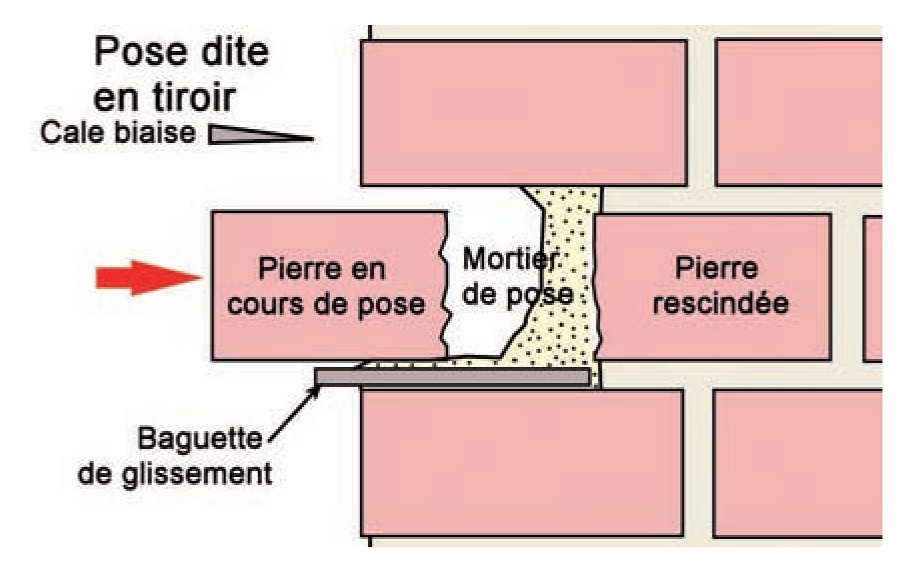


Figure n° 4 : méthode traditionnelle

Dans le cas de pierres de volume important, il faut mettre en place des baguettes qui permettent de faire glisser la pierre «comme un tiroir !». Un mortier de pose gras à base de sable roulé facilite le glissement.

Si le joint est de très faible épaisseur (cas des pierres de taille), une fois la pierre en place, il est indispensable de procéder à une injection de mortier après avoir réalisé un joint périphérique d'étanchéité et mis en place des évents en partie supérieure.

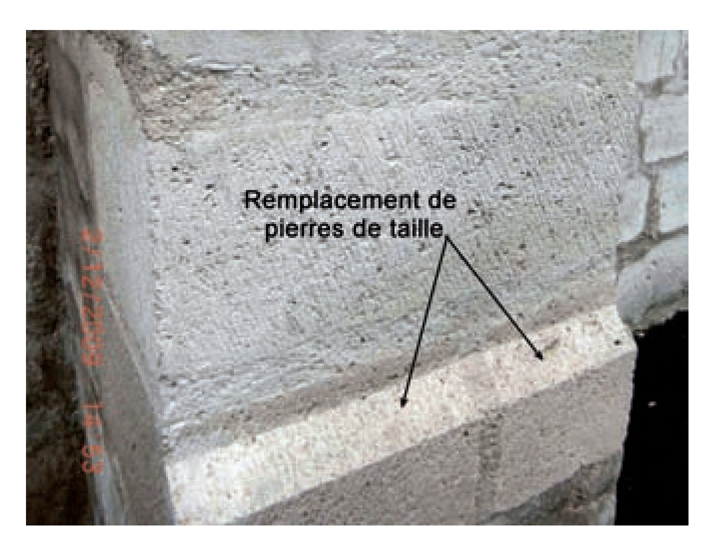


Photo n° 22 : exemple d'un remplacement de pierres de taille *(crédit photo D. Poineau)*

***NOTA :** lorsque la pierre de remplacement se trouve en porte-à-faux ou est de faible épaisseur (plaquette), il faut sceller la pierre neuve dans la maçonnerie existante au moyen de goujons inoxydables. Se reporter aux règles de mise en œuvre des pierres agrafées.*

3.2.5.2 Méthode à base de mortiers de restauration

- nettoyer les parements pour enlever toutes les salissures ;
- recouper la pierre jusqu'à l'obtention d'une surface de reprise saine ;
- armer le mortier à mi-épaisseur, à l'aide d'armatures inoxydable dans la masse (goujons et fils en acier inoxydable ou en laiton…) lorsque les parties à ragréer ont plus de 0.02 m d'épaisseur. L'armature permet de limiter et de répartir en une microfissuration uniforme le retrait du mortier et, ainsi, d'améliorer son adhérence et sa durabilité ;
- ne pas réaliser de réparation en forme de sifflet : l'extrémité de quelques millimètres d'épaisseur risque de se décoller très rapidement par «grillage» du mortier. Ces mortiers ne sont pas applicables pour des réparations de grande surface ;

- humidifier la pierre et la laisser ressuyer ;
- appliquer le mortier de restauration à la taloche ou à la truelle en le serrant fortement mais sans lisser. Enlever les balèvres avec la tranche d'une truelle ;
- prévoir une mise en place en deux couches, si l'épaisseur à mettre en œuvre est comprise entre 5 et 10 cm. La seconde couche doit être mise en place dès le raidissement de la première ;
- respecter les joints de l'appareillage par mise en place de petites bandes de polystyrène expansé de la largeur du joint désiré avec rejointoiement ultérieur, après enlèvement des bandes de polystyrène. Les armatures doivent, bien sûr, aussi respecter les joints de hourdage ;
- effectuer la finition de surface après durcissement du mortier, selon l'aspect des pierres de la maçonnerie et avec les outils adaptés (chemin de fer ou rabotin, sciotte, boucharde, gouge…) ;
- dépoussiérer et laver le parement ainsi reconstitué après les travaux de finition ;
- protéger les surfaces ragréées des intempéries (vent, soleil, pluie et gel) pendant au moins deux jours.

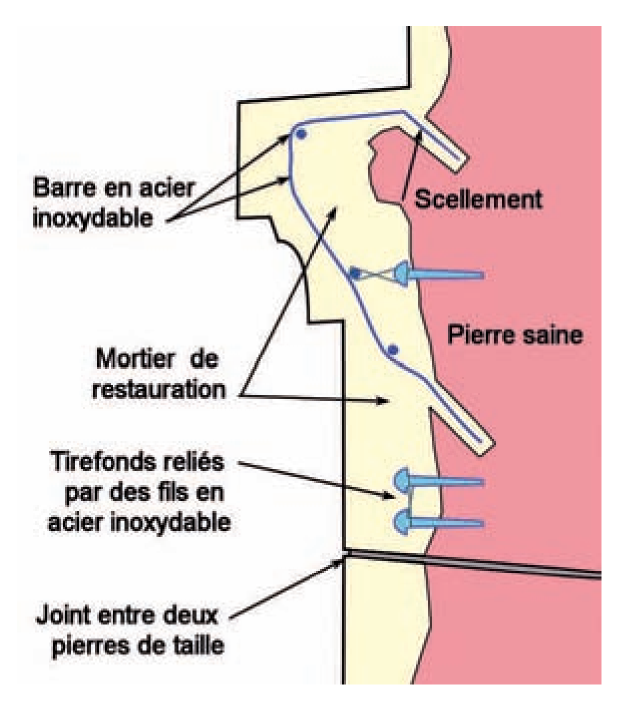


Figure n° 5 : méthode de restauration des pierres à l'aide d'un mortier

.



Photo n° 23 : début de la mise en place d'un mortier de restauration qui, normalement, aurait dû être armé
(crédit photo J. L. Michotey)

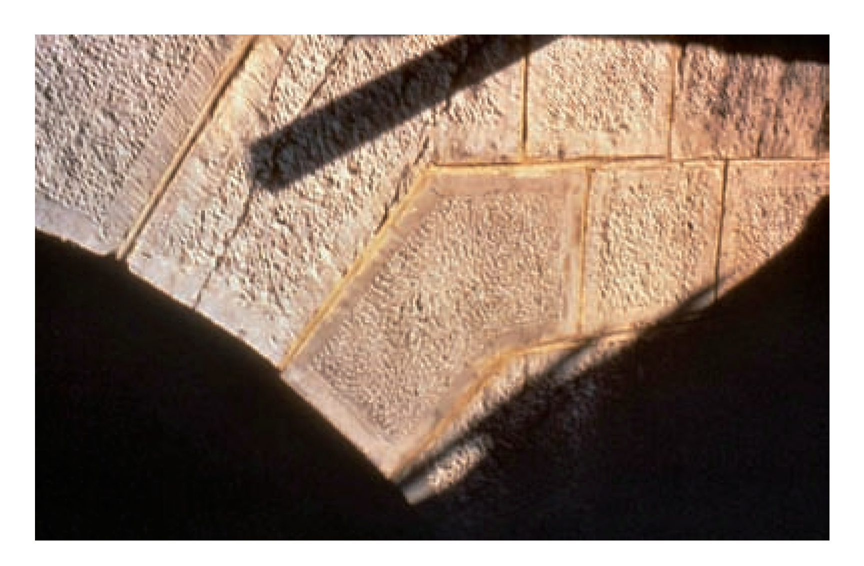


Photo n° 24 : travaux de ragréage à l'aide d'un mortier de restauration une fois terminés *(crédit photo J. L. Michotey)*

La photo ci-après montre ce qu'il ne faut surtout pas faire : utiliser des armatures de béton armé classiques corrodables et remplacer la pierre par du béton armé. Dans le cas présent, il aurait fallu mettre en place une pierre taillée et, si nécessaire, à cause du porte-à-faux, la sceller par des goujons inoxydables à la pierre rescindée.

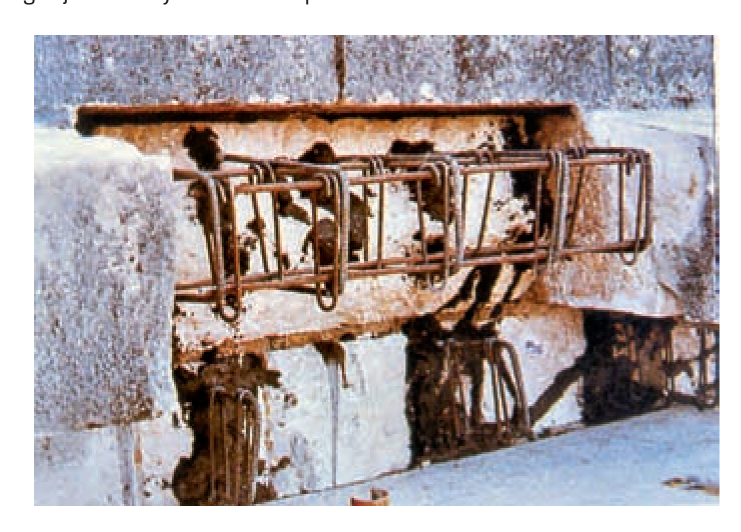


Photo n° 25 : exemple d'une mauvaise solution : pierre reconstituée en béton et ferraillée avec des armatures de béton armé ordinaires *(crédit photo J. L. Michotey)*

3.2.6 ESSAIS ET CONTRÔLES

3.2.6.1 Épreuve de convenance

Une épreuve de convenance est exécutée par **l'entrepreneur** avant le début des travaux. Elle fait, sauf disposition contraire du **marché**, l'objet d'un **POINT D'ARRÊT** levé par le **contrôle extérieur,** au vu du respect des exigences du **marché** et de la **procédure d'exécution** et de l'aspect de la réparation terminée.

La levée du **POINT D'ARRÊT** est conditionnée à la validation par le **maître d'œuvre** de l'épreuve de convenance de reconstruction.

Pour réaliser cette **épreuve de convenance, le marché impose une surface de référence existante** qui sert de modèle pour l'appareillage et le parement des pierres (forme, taille, grain, couleur) ainsi que pour les joints. Sur le chantier, le **maître d'œuvre** et **l'entrepreneur** choisissent une des zones à réparer appelée «planche d'essai» sur laquelle **l'entrepreneur** va exécuter les réparations prévues au **marché** (mise en place de nouvelles pierres par la méthode traditionnelle ou le remplacement de la pierre désorganisée par un mortier de restauration).

Se reporter à l'article 3.2.5 ci-dessus décrivant l'enchaînement des différentes opérations à réaliser

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Au cours de cette épreuve sont contrôlés les rendements, la qualité du travail effectué, le respect des exigences du **marché** en matière d'appareillage, de joints, de couleurs et de finition de forme et de surface. Les pierres remplacées sont sondées au marteau pour tester leur adhérence. Les ragréages sont testés par un essai classique d'arrachement.

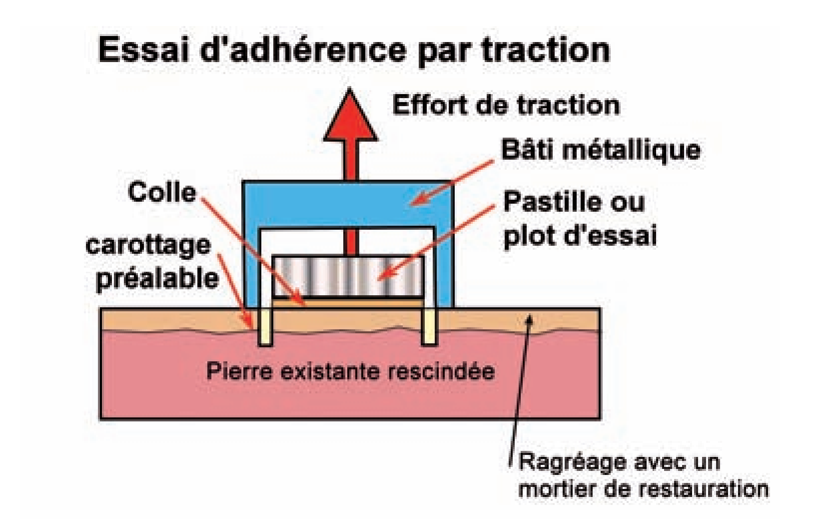


Figure n° 6 : essai de traction de surface

> ***Rappel :*** *les contrôles de convenance portent aussi sur les produits, matériaux et composants, le matériel, la présence et la compétence du personnel d'exécution et la préparation du mortier.*

3.2.3.2 Contrôle d'exécution

Le **contrôle** porte sur le respect de la **procédure** et la comparaison entre les réparations en cours de réalisation et les résultats obtenues sur la planche d'essai.

3.2.7 RÉCEPTION DES TRAVAUX (pour mémoire)

Se reporter au chapitre 5.11 guide FABEM 6.1.

3.3.1 GÉNÉRALITÉS

La photo ci-après montre l'intrados de la voûte d'un pont en maçonnerie. Cette photo montre que, très souvent, les altérations de briques concernent une brique par-ci ou par-là alors que les briques voisines sont en bon état. La brique endommagée n'a plus aucune consistance et se transforme en poudre (incidence d'une mauvaise cuisson et de l'agressivité de l'environnement). Si les désordres portent sur des surfaces importantes, la réparation relève des techniques de reconstruction partielle ou totale de parties d'ouvrage visée par le guide FABEM 6.3.



Photo n° 26 : dégradations très localisées de briques *(crédit photo Cofex Littoral)*

> La reconstitution superficielle d'un parement en briques est basée sur la méthode traditionnelle applicable aux pierres :

- elle consiste à incruster une brique ou un **«mulot»** en remplacement de la partie altérée (technique de réparation dite **«en tiroir»**) ;
- cette technique de réparation donne à long terme un bon aspect, qui va se confondre avec le reste du parement de briques.

3.3.2 ÉTUDES PRÉALABLES

Rappel : *il est très important de faire procéder aux* ***investigations*** *pendant la* ***période des études préalables.*** *Pour ce faire, des prélèvements et des essais sont à réaliser afin de déterminer les causes des désordres, l'état et les caractéristiques des briques, des joints mais aussi du mortier de hourdage.*

Au cours de ces études, surtout s'il s'agit de briques de dimensions non usuelles, il faut rechercher quelles briques de substitution peuvent être employées et/ou si des briqueteries locales peuvent fournir des briques sur commande spéciale.

Ces investigations ont également pour but de déterminer la ou les **méthodes de nettoyage** ou de **préparation de surface** préalable(s) à la reconstitution superficielle du parement en briques.

3.3.3 CHOIX DES MATÉRIAUX

Outre le choix esthétique de la brique (texture, couleur…), ses caractéristiques physico-chimiques sont déterminées en fonction, d'une part, de la qualité du support existant et, d'autre part, de sa situation environnementale en conformité à la norme **NF EN 771-1.** La brique de remplacement est obligatoirement une brique dite «de parement» (se reporter au guide STRRES FABEM 6.1 – article sur le choix des produits et matériaux).

Les caractéristiques des mortiers de pose sont choisies pour éviter toute incompatibilité avec les briques et pour ne pas risquer l'apparition d'efflorescences sur les parements. Se reporter à la norme **NF EN 771-1** et au **complément national (CN)**. Il est vivement recommandé d'utiliser des ciments à faible teneur en C3A (par exemple, conformes à la norme **NF P 15-319).**

3.3.4 MATÉRIELS À UTILISER

Outils manuels classiques du maçon pour refouiller les joints, rescinder les briques à remplacer partiellement ou en totalité, recouper les briques pierres pour les ajuster à l'emplacement disponible, mettre en place le mortier de hourdage, faire les joints, assurer leur finition et faire le nettoyage des parements remis en état.

Ces outils manuels peuvent être remplacés ou compléter par des outils pneumatiques, hydrauliques ou électriques permettant d'effectuer les opérations susvisées.

Si besoin est, pompe à haute pression et lance pour le nettoyage des parements et le dégarnissage des joints à l'eau sous pression.

3.3.5 MODE OPÉRATOIRE

- nettoyer les parements pour enlever toutes les salissures ;
- refouiller complètement la brique endommagée jusqu'à l'obtention d'une surface de reprise saine (opération à mener avec précaution pour ne pas endommager les briques voisines) ;
- humidifier la zone en cours de traitement puis la laisser ressuyer et procéder de même pour la **brique de remplacement**[2] ;
- mettre en place le mortier de hourdage ;
- introduire en force la brique dans son logement. Il faut s'assurer que le mortier reflue à la surface par tous les joints ; pour ce faire, la brique est frappée et tassée au marteau en interposant une cale en bois pour éviter la casse ;
- enfoncer, si besoin est (cas de la pose au plafond), des cales en bois imbibées d'eau à saturation pour bloquer la brique en position ;
- procéder à l'exécution des joints après raidissement du mortier et après avoir enlevé les cales ;
- réaliser les travaux de finition et de nettoyage comme dans une pose classique ;
- protéger les surfaces réparées des intempéries (vent, soleil, pluie et gel) pendant au moins deux jours.



Photo n° 27 : travaux de remplacement de briques en cours *(crédit photo Cofex Littoral)*

[2] *Les briques pleines sont susceptibles de «pomper» une grande quantité d'eau et, en particulier, l'eau du mortier qui devient friable et perd toute cohésion et adhérence à la brique. Il est donc important de connaître le taux initial d'absorption d'eau initial et* ***d'humidifier soigneusement les briques*** *avant emploi.*



Photo n° 28 : travaux terminés *(crédit photo Cofex Littoral)*

NOTA : *la photographie ci-devant montre que les* ***nouvelles briques*** *ont une teinte qui se fond dans la maçonnerie existante, mais elles ont des arêtes parfaitement rectilignes, ce qui n'est pas le cas des briques anciennes. Dans un tel cas et si les parements à réparer sont très visibles, le* ***marché*** *peut prévoir de faire abattre les arêtes des briques nouvelles à la meule avant leur mise en place.*

3.3.6 ESSAIS ET CONTRÔLES

3.3.6.1 Épreuve de convenance

Une épreuve de convenance est exécutée par **l'entrepreneur** avant le début des travaux. Elle fait, sauf disposition contraire du **marché**, l'objet d'un **POINT D'ARRÊT** levé par le **contrôle extérieur,** au vu du respect des exigences du **marché** et de la **procédure d'exécution** et de l'aspect de la réparation terminée.

La levée du **POINT D'ARRÊT** est conditionnée à la validation par le **maître d'œuvre** de l'épreuve de convenance de reconstruction.

Pour réaliser cette **épreuve de convenance le marché impose une surface de référence existante** qui sert de modèle pour l'appareillage et le parement des briques (forme, grain, couleur) ainsi que pour les joints. Sur le chantier, le **maître d'œuvre** et **l'entrepreneur** choisissent une des zones à réparer appelée **«planche d'essai»** sur laquelle **l'entrepreneur** va exécuter les réparations prévues au **marché** : la mise en place de nouvelles briques la méthode traditionnelle.

Se reporter au paragraphe 3.3.5 ci-dessus décrivant l'enchaînement des différentes opérations à réaliser.

Au cours de cette épreuve sont contrôlés les rendements, la qualité du travail effectué par un sondage au marteau des briques remplacées, le respect des exigences du marché en matière d'appareillage, de joints, de couleurs et de finition.

Rappel : *les contrôles de convenance portent aussi sur les produits, matériaux et composants, le matériel, la présence et la compétence du personnel d'exécution et la préparation du mortier.*

3.3.6.2 Contrôle d'exécution

Le **contrôle** porte sur le respect de la **procédure** et la comparaison entre les réparations en cours de réalisation et les résultats obtenues sur la planche d'essai.

3.3.7 RÉCEPTION DES TRAVAUX (pour mémoire)

Se reporter au chapitre 5.11 du guide FABEM 6.1.

4

Enduits de protection des parement et parois

4.1 Domaine d'application

La réalisation d'enduits sur les maçonneries de pierres naturelles ou de briques en élévation ou enterrées pour les protéger contre l'eau est une **technique parfaitement éprouvée** et qui fait l'objet, dans le **domaine du bâtiment, du DTU 26.1** (complément **au DTU 20.1**) et, dans le **domaine du génie civil, du fascicule 64 du CCTG.**

Le DTU 20.1 traite des dispositions constructives à respecter, en particulier pour les murs de maçonnerie enduits.

Le DTU 26.1 est très complet, même si certaines références normatives ne sont plus à jour (par exemple, les appellations des diverse chaux). Ce document traite à la fois des enduits sur béton et maçonnerie.

Dans le domaine du génie civil, la partie du **fascicule 64 du CCTG** qui traite des enduits est réduite à l'article 28 qui, lui-même, ne comporte qu'une seule page !

> La réalisation des enduits, mais sur des PAROIS EN BÉTON, fait aussi l'objet des deux guides du STRRES suivants :

- **le guide «protection des bétons» [FABEM 4] ;**
- le **guide «béton projeté» [FABEM 5].**

Sous réserve de prendre certaines précautions lors de la préparation et de la réalisation d'un enduit destiné à une maçonnerie en en pierres naturelles ou en briques, tout ce qui a été développé dans les deux guides susvisé sur le choix des produits, le matériel à utiliser, la préparation des produits, leur mise en œuvre et leur contrôle peut s'appliquer «mutatis mutandis» aux enduits pour maçonneries.

Nous invitons donc le lecteur à se reporter aux **documents susvisés** et, en particulier, aux **deux guides du STRRES,** mais après avoir lu les paragraphes ci-après du présent guide qui développent les précautions à prendre pour éviter des déconvenues.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Rappel : *il est très important de faire procéder aux* ***investigations*** *pendant la* ***période des études préalables.*** *Pour ce faire, des prélèvements et des essais sont à réaliser afin de déterminer les causes des désordres, l'état et les caractéristiques des pierres, des joints mais aussi du mortier de hourdage.*

> La réalisation d'un enduit sur une maçonnerie n'est envisageable que si la maçonnerie sous l'enduit ne risque pas de se trouver imbibée d'eau. Il faut donc :

- en premier, un drainage efficace des eaux de pluie et souterraines ;
- en second, une étanchéité parfaite vis-à-vis de l'eau qui peut pénétrer par le dessus (cas d'une voûte) ou par l'arrière (cas d'un mur de soutènement)
- enfin, que l'eau ne puisse pas de remonter du sol vers la maçonnerie.

En effet, même si l'enduit est perméable à la vapeur d'eau, cela ne suffira pas à empêcher l'eau de provoquer des désordres à cause des remontées de sels dissous, des effets du gel-dégel…

La photographie ci-après montre les conséquences d'un défaut de chape d'étanchéité sur la partie arrière d'un mur de soutènement combinée à une absence de coupure capillaire contre les remontées d'humidité.



Photo n° 29 : désordres dus à la réalisation d'un enduit sur un mur de soutènement alors que la maçonnerie est exposée à l'eau sur ses autres faces *(crédit photo D. Poineau)*

Bien plus graves encore ont été les conséquences de la transformation de **ponts-voûtes en «piscine»** par la réalisation d'une contre-voûte en béton et d'un enduit sur les tympans sans se préoccuper de l'état de la chape d'étanchéité et du bon fonctionnement du dispositif de drainage !

Il est donc indispensable de faire effectuer ***les investigations décrites dans la 7ème partie*** *du présent guide, qui traite* ***de la protection contre les eaux des ouvrages en maçonnerie.*** *Les résultats de ces mesures et essais permettent de savoir si la réalisation d'un enduit est ou non possible et quels sont les travaux complémentaires à exécuter.*

Ces investigations ont également pour but de déterminer **la ou les méthodes de nettoyage ou de préparation de surface** préalable(s) à la réalisation de l'enduit. L'enlèvement d'un enduit existant relève de la préparation de surface.

Se reporter aux guides **FABEM 4 et 5** et également aux conseils du présent guide visant à empêcher **toute incompatibilité** entre les composants de l'enduit et la pierre naturelle ou la brique. Ces conseils sont développés principalement dans le paragraphe 6.2 du guide FABEM 6.1 relatif au choix des produits et matériaux.

Rappel : *pour les maçonneries en briques, il faut se reporter à la norme* ***NF EN 771-1*** *et au* ***complément national (CN).*** *Il est vivement recommandé d'utiliser des ciments à faible teneur en C3A (par exemple, conformes à la norme* ***NF P 15-319).***

La photo suivante montre les conséquences de la mise en place d'un enduit inadapté sur un mur en maçonnerie : la pierre s'altère et provoque le décollement de l'enduit.



Photo n° 30 : décollement d'un enduit inadapté *(crédit photo D. Poineau)*

4.4 Matériels à utiliser

Se reporter aux **guides FABEM 4 et 5.**

4.5.1 PRÉPARATION DES SURFACES

Se reporter aux **guides FABEM 4 et 5** et aux conseils développés ci-après.

Les parties de maçonneries en mauvais état doivent être réparées. Les armatures scellées dans la maçonnerie sont à remplacer par des armatures non corrodables ou sont à traiter contre la corrosion. Les surfaces et, tout particulièrement les surfaces lisses, sont repiquées de façon à améliorer l'adhérence de l'enduit, puis elles sont lavées à grande eau. Il faut ensuite permettre aux surfaces de ressuyer avant de réaliser les différentes couches de l'enduit.

En cas de doute sur l'adhérence de l'enduit sur la maçonnerie (cas d'une maçonnerie de pierres froides), une armature est mise en place et fixée par des points d'ancrage sur la maçonnerie (se reporter au **DTU 26.1). Le marché** précise les dispositions à prendre pour assurer la durabilité de l'armature (produits non corrodables, produits simplement galvanisés...).

Ne pas oublier de protéger le chantier des intempéries et du soleil de façon à éviter la dessiccation, le délavage ou le gel de l'enduit pendant sa mise en place, sa prise et le début de son durcissement.

Il appartient **au marché** de fixer les exigences en matière de préparation des surfaces en imposant **un relevé contradictoire des surfaces à traiter** avant préparation des surfaces et après celle-ci.

4.5.2 EXÉCUTION DE L'ENDUIT

Suivant l'importance des surfaces à traiter, la réalisation de l'enduit en une ou plusieurs couches peut être manuelle (utilisation de la truelle et de la taloche) ou mécanisée (machine de projection par voie sèche ou par voie mouillée).

Les procédures à suivre sont développées dans les guides **FABEM 4 et 5.**



Photo n° 31 : chantier de projection *(crédit photo Parexlanko)*

4.6 Essais et contrôles

Se reporter aux **guides FABEM 4 et 5** qui décrivent dans le détail la réalisation de l'épreuve d'étude et les contrôles d'exécution. **Le marché** prévoit une épreuve de convenance avec la réalisation de planches d'essai qui servent ensuite de référence lors des travaux.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011



Se reporter au paragraphe 5.11 du guide FABEM 6.1.

5

Revêtements de protection des parements en maçonnerie

5.1 Généralités

> Les parements en maçonnerie, comme le béton, peuvent recevoir des revêtements de protection, c'est-à-dire des :

- hydrofuges ;
- consolidants ;
- peintures…

Ces revêtements de protection sont surtout utilisés dans les **domaines du bâtiment et des monuments historiques** et beaucoup plus rarement dans le **domaine du génie civil.** Les indications fournies dans le présent paragraphe concernent essentiellement le premier domaine, celui du bâtiment. **Elles sont donc à adapter dans le cas d'un ouvrage de génie civil.**

Le présent paragraphe ne traite que des **spécificités des produits et systèmes de produits destinés à la protection des parements en maçonnerie** sans rentrer, sauf exception, dans le choix des matériels nécessaires à leur préparation et leur mise en œuvre, dans les précautions à prendre lors de leur préparation et de leur applications ainsi que dans les essais et contrôles à effectuer, car tous ces points sont traités en détail dans le **guide FABEM 4** relatif à la protection des bétons, auquel nous invitons le lecteur à se reporter. Bien entendu, les dispositions de ce guide sont à adapter au cas des parements en maçonnerie.

NOTE : *Les hydrofuges de surface et les peintures sont visés par le **DTU 59-1** (norme **NF P 74-201-1**) mais, il faut se reporter à la norme **NF EN 1504-2** relative aux systèmes de protection des bétons pour obtenir une définition des imprégnation hydrophobe et des autres imprégnation.*

ATTENTION : *un revêtement de protection par **hydrofuge** ou **consolidant** rend la surface traitée imperméable aux eaux de ruissellement, ce qui **augmente la quantité d'eau qui ruisselle** sur les parties non traitées situées en dessous ; cela peut y entraîner le développement de désordres. Pour éviter de tels problèmes, il faut aussi traiter la partie située en dessous de la partie **«malade»** jusqu'au rejet d'eau (corniche, bandeau) le plus proche.*

L'hydrofugation a pour objet de protéger durablement les supports poreux contre la pénétration de l'eau sous forme liquide en les laissant «respirer» (perméabilité à la vapeur d'eau). Les produits se présentent sous forme d'imprégnations hydrophobes. Ils recouvrent l'intérieur des pores et des capillaires sans les imprégner, ne forment pas un film à la surface et ne changent pas ou peu l'apparence de la surface traitée.

Ces produits incolores et stables aux radiations ultraviolettes ont des **fonctions secondaires,** ce qui permet souvent de limiter, d'une part, la «maladie de la pierre» (se reporter au paragraphe 4.3.3.2 du guide FABEM 6.1 relatif à la maladie de la pierre calcaire et à la formation du calcin ou sulfin) et, d'autre part, l'incrustation des salissures, qui restent superficielles et peuvent se nettoyer facilement à l'eau (dépôts divers, développement biologique des micro-organismes…etc.).

Les meilleurs produits ont une durée de vie qui dépasse nettement la vingtaine d'années. Un renouvellement de la couche de protection est ensuite possible comme indiqué ci-après.

> Actuellement on trouve sur le marché deux familles distinctes, l'une à base de copolymères acryliques et l'autre à base de résines silicones. Ces produits peuvent être disponibles :

- en phase solvantée, sachant que de tels produits sont applicables sur des surfaces vierges ou déjà traitées ;
- en phase aqueuse, sachant que de tels produits ne sont pas applicables sur des surfaces déjà traitées.

ATTENTION : *les produits solvantés sont des produits plus ou moins volatils et inflammables dont les vapeurs avec l'air peuvent former des mélanges explosifs. La température d'inflammation ou de déflagration est appelée* ***«point éclair»*** *(se reporter aux* ***fiches de sécurité [FDS]****).*

La norme **NF EN 1062-1** : produits et systèmes de revêtements pour maçonnerie et béton extérieurs – Partie 1 : classification, fixe les conditions de choix et mise en œuvre de ces produits dont sont tirés les **quelques extraits** ci-après dans le paragraphe consacré au domaine d'application.

5.3 Les consolidants ou minéralisateurs

Les consolidants ou minéralisateurs sont des produits d'imprégnation qui imprègnent totalement ou partiellement les pores et capillaires. **Ils renforcent la cohésion du matériau en surface et améliorent sa résistance à l'usure.** De plus, **ils en réduisent la porosité et en cela sont hydrofugeants.** Ils sont perméables à la vapeur d'eau et laissent donc respirer le support.

Les consolidants sont surtout utilisés pour renforcer et hydrofuger les bas-reliefs… dans le domaine des monuments historiques.

Actuellement on trouve sur le marché des produits qui contiennent des silicates d'éthyle en phase solvantée, des silicates en phase aqueuse. Certaines résines époxydes peuvent aussi jouer ce rôle.

Ces produits, comme indiqué ci-devant, peuvent être disponibles, comme les hydrofuges, en phase solvantée ou en phase aqueuse. Les risques qu'ils peuvent présenter figurent sur leur **fiche FDS.**

Ces consolidants ne sont pas explicitement visés par la norme **NF EN 1062-1** mais, comme ils peuvent aussi servir pour traiter la surface des bétons, il est possible de retrouver des informations sur leurs propriétés dans la norme **NF EN 1504-2** relative aux systèmes de protection de surface pour béton.

Les peintures sont classées dans les **revêtements**. Elles forment une couche protectrice continue sur la surface traitée.

Les peintures peuvent être utilisées pour protéger et décorer des parements en maçonneries (pierres et briques).

La norme **NF EN 1062-1** : Produits et systèmes de revêtements pour maçonnerie et béton extérieurs – Partie 1 : classification, fixe les conditions de choix et mise en œuvre de ces produits dont sont tirés les **quelques extraits** ci-après dans le paragraphe consacré au domaine d'application.

5.5 Domaine d'application

*La norme européenne **NF EN 1062-1** définit un système général de description des produits de peinture et des systèmes de revêtement pour la **préservation**, la **décoration** et la **protection des supports en maçonnerie** et en béton neufs ou anciens, nus ou déjà revêtus. Elle contient également un système de classification fondé sur certaines propriétés physiques.*

La présente norme européenne est applicable à tous les produits de peinture ou systèmes de revêtement pour maçonnerie et béton extérieurs, y compris ceux destinés à être utilisés dans des systèmes d'isolation thermique extérieure.

*La norme européenne **NF EN 1062-1** et la norme française d'adaptation **XP T 34-722** classent tous ces revêtements, à partir de caractéristique **«GESVWAC[3]»**, où :*

- G représente le degré de brillant ;
- E l'épaisseur ;
- S la granulométrie ;
- V la perméabilité à la vapeur d'eau ;
- W la perméabilité à l'eau liquide ;
- A la résistance à la fissuration ;
- C la résistance à la diffusion du CO2, sachant que C se décline en 2 possibilités :
  - C_0 = le revêtement laisse diffuser le gaz carbonique,
  - C_1 = le revêtement s'oppose à la diffusion du gaz carbonique et est donc réputé anti-carbonatation du béton.

***ATTENTION :** la norme européenne ne donne aucune indication ni conseil sur le choix des produits et sur le niveau de performance à exiger. Il faut, pour cela, se reporter à la norme française expérimentale susvisée (voir également le **guide FABEM 4**).*

*[3] Se reporter au **guide FABEM 4** qui détaille le contenu des normes susvisées et explicite leur emploi.*

Ces produits, y compris les consolidants, s'appliquent en respectant les dispositions de la norme **NF P 74-201-1 (DTU 59.1** - Peinture - Travaux de peinture des bâtiments - Partie 1 : cahier des clauses techniques), dont sont tirés les quelques extraits ci-après :

> INTRODUCTION

Les travaux préparatoires et de finition sont définis en fonction de la nature du subjectile, de la qualité de surface de celui-ci et de l'état de finition recherché.

Subjectiles	État de finition recherché (3)			Lavage à haute pression ou à la vapeur	Brossage, époussetage, égrenage (4)	Impression	Couche intermédiaire (5)	Couche de finition
	Mat	Satiné	Brillant					
Éléments pleins ou creux de parement(1)	Finition C(2)				X	X	X	X
Pierre	Finition C(2)			X		X	X	X

1) Ces parements sont souvent repeints en entretien ou rénovation, sans pour autant y poser un enduit de maçon. Les reprises d'appareillage sont, si nécessaire, effectuées par le maçon.
2) La finition C, qui reflète l'état du subjectile, peut seule être envisagée par le peintre.
3) Voir le paragraphe 6.6.1.4 du DTU 59.1 pour les traitements d'hydrofugation.
4) Les opérations de brossage ou de dépoussiérage peuvent être remplacées par un lavage à l'eau sous pression ou projection d'abrasif par voie sèche ou humide.
5) La couche intermédiaire est facultative, néanmoins la durabilité du revêtement sera améliorée par l'application d'une telle couche.

NOTE : *Pour envisager des finitions plus élaborées, un enduit de maçon selon la norme NF P 15-201 (DTU 26.1) est nécessaire.*

Tableau n° 1 : tableau 10 du DTU 59.1 : Briques pleines ou creuses, blocs de béton et maçonneries en parement Travaux extérieurs

Ce document peut également servir de référence pour les travaux d'entretien (voir son annexe A), ainsi que pour les travaux de peinture sur ouvrages de génie civil ne faisant pas l'objet de marchés publics.

> PEINTURES, VERNIS, LASURES ET HYDROFUGES DE SURFACE (article 3.2.1 du DTU)

*Voir en annexe B la classification correspondante. Se reporter également à la norme **NF T 36-005** relative au classement des produits pour peinture.*

NOTE : *les lasures et les hydrofuges de surface font partie des produits assimilés et sont classés «produits de peinture» selon la norme **NF T 36-005.***

> SUBJECTILES (article 5 du DTU)

Qualité des subjectiles avant peinture (article 5.1 du DTU)

La mise en peinture des matériaux constituant les subjectiles ne peut être exécutée que s'ils satisfont aux prescriptions définies ci-après par nature de matériaux, dans le cadre du paragraphe 4.2.1 de la norme ***NF P 74-201-2 (CCS).***

NOTE : *conformément à l'article 4 de la norme* ***NF P 74-201-2****, les documents particuliers du* ***marché*** *doivent indiquer les états de surface retenus pour les subjectiles.*

Ces prescriptions doivent figurer tant dans le marché de l'entreprise de peinture que dans les ***marchés*** *des entreprises qui réalisent des subjectiles destinés au peintre.*

Supports à base de liants hydrauliques et de maçonnerie (article 5.3 du DTU)

- **Prescriptions générales (article 5.3.1 du DTU)**

> Les supports ne doivent pas présenter de :

- *taches d'humidité, ni de moisissures, souillures biologiques, etc. ;*
- *pulvérulence ;*
- *efflorescences ou salpêtre ;*
- *taches de bistre ;*
- *taches d'huile ou de graisse ;*
- *taches diverses provenant de structures bois ou métalliques contiguës ou sous-jacentes ;*
- *inscriptions (trait à l'encre ou crayon gras, graffiti, etc.).*

- **Maçonneries de briques ou blocs de terre cuite, blocs de béton destinés à rester apparents (article 5.3.4 du DTU)**

Au moment de la mise en peinture, les caractéristiques d'humidité, de dureté et de pH sont définis dans le ***DTU 59.1.***

- **Maçonneries de briques ou blocs de terre cuite, blocs de béton destinés à recevoir un enduit hydraulique ou plâtre (article 5.3.5 du DTU)**

Au moment de la mise en peinture, les caractéristiques d'humidité, de dureté et de pH sont définis dans le ***DTU 59.1.***

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

- *Maçonneries de pierres calcaire, granits ou grès (article 5.3.7 du DTU)*

*Ces supports ne peuvent recevoir qu'une **finition C** selon le paragraphe 6.2.2.1. Leur taux d'humidité sera inférieur à 8% en masse.*

Classement d'aspect (article 6.2 du DTU)

- *Définition des états de finition communs à tous les subjectiles (article 6.2.2 du DTU)*

> Cas de la finition C :

Le film de peinture couvre le subjectile. Il lui apporte un coloris, mais l'état de finition de surface reflète celui du subjectile. Des défauts locaux de pouvoir masquant et de brillance sont tolérés.

- *Prescription de classement de finition par nature de subjectile (article 6.2.3 du DTU)*

> Cas des supports en maçonnerie :

Le film de peinture couvre le subjectile. Il lui apporte un coloris, mais l'état de finition de surface reflète celui du subjectile. La finition C est d'aspect poché.

Conditions minimales d'intervention (article 6.1 du DTU)

Les ouvrages de peinture, vernis, enduits et préparations assimilées ne sont exécutés que sur des subjectiles propres et dépoussiérés, répondant aux prescriptions les concernant, à l'article 5.

Ils ne sont jamais exécutés en atmosphère susceptible de donner lieu à des condensations, ni sur des subjectiles gelés ou surchauffés, ni non plus, de façon générale, dans des conditions activant anormalement le séchage (vent, soleil, etc.).

Préparation en vue des vérifications et contrôles en fin de travaux (article 6.3 du DTU)

- *Surfaces de référence pour ouvrage témoin (article 6.3.1 du DTU)*

*A l'origine des travaux de peinture, il est procédé à l'exécution de **surfaces de référence** qui doivent être approuvées. L'approbation est consignée au moins dans le compte rendu de chantier.*

Ces surfaces sont choisies dans des emplacements correspondant à l'exposition moyenne du chantier considéré.

*Leur exécution comporte par nature de travail toutes les opérations, travaux préparatoires et application des produits de peinture prévus aux documents particuliers du **marché.***

5.7 Matériel de préparation et de mise en œuvre, réalisation des travaux et des contrôles

Se reporter au **guide FABEM 4** définissant la mise en œuvre d'une protection de surface pour béton (préparation de surface, matériels de fabrication et de mise en œuvre, réalisation, contrôles….

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Se reporter au paragraphe 5.11 du guide FABEM 6.1

6

Remplacement du remblai des voûtes et murs Réfection des couches d'assise et de surface des chaussées

Le présent paragraphe vise surtout le **remblai au-dessus des voûtes** mais peut être étendu au remblai en arrière d'un mur de soutènement. Le niveau des exigences concernant les caractéristiques du remblai est à adapter. Il traite également, mais sans entrer dans les détails, de la **réfection des couches d'assise (corps de chaussée) et des couches de surface de la chaussée.**

Cette opération est sans aucun doute une des plus sensibles parmi celles qui permettent la réhabilitation des ouvrages d'art en maçonnerie. En effet, le remblai de voûte, notamment sur les ouvrages anciens, fait souvent corps avec la voûte. En l'éliminant, il y a de forte chance que l'on déstabilise la voûte elle-même.

> Le remplacement de ce matériau peut être envisagé pour plusieurs raisons :

- le matériau lui-même n'a pas les caractéristiques mécaniques requises ;
- les tympans sont très endommagés, au point que leur reconstruction partielle, voire totale est envisagée ;
- la réalisation de contre-voûtes à l'extrados des voûtes existantes est nécessaire ;
- un changement d'usage de l'ouvrage est prévu, tel qu'un rehaussement, un élargissement, qui nécessite une meilleure capacité portante du matériau de remplissage ;
- la réalisation d'une chape d'étanchéité en position basse, intermédiaire ou haute est nécessaire pour mettre à l'abri l'ouvrage de l'eau…

Au cours des études préalables, il est souvent nécessaire de déterminer la **géométrie de la voûte,** ce qui impose des sondages ou l'ouverture de tranchées. A cette occasion, des prélèvements sont à opérer sur les différentes couches des **matériaux de remplissage** afin d'en déterminer les propriétés (voir dans la suite du présent paragraphe les caractéristiques que doivent présenter ces matériaux)

*Au cours de ces études, s'il est envisagé d'enlever les matériaux du remplissage et de mettre en place de nouveaux matériaux, **il faut impérativement procéder au calcul de vérification de la stabilité des voûtes** pendant les opérations de déblaiement et de remblaiement.*

***ATTENTION :** les arcs brisés sont tout particulièrement sensibles à leur déchargement.*

Il faut redoubler de prudence quand il est prévu de procéder à ces opérations par demi-chaussée avec maintient partiel ou total du trafic.

6.3.1 MATÉRIAUX DE REMPLISSAGE

6.3.1.1 Généralités

> La reconnaissance des matériaux constituant le remplissage s'intègre normalement dans la réalisation du dossier géotechnique de l'ouvrage visé en page 18 du guide de SETRA de 1992 et qui porte :

- sur la reconnaissance des matériaux constituant le remplissage, c'est-à-dire identification et caractéristiques mécaniques ;
- sur la reconnaissance de la géométrie de la ou des voûte(s) et des caractéristiques des matériaux et des joints de la maçonnerie ;
- sur la reconnaissance des fondations et du sol de fondation.

NOTA : *ce dossier géotechnique doit s'appuyer sur la norme **NF P 94-500** qui traite des études **géotechniques**. Des adaptations s'imposent puisque l'étude ne porte pas que sur le sol de fondation.*

> Rôle du remplissage :

Il supporte la **chaussée** comportant ses **couches d'assise ou corps de chaussée** (fondation et base) et ses **couches de surface** (couche de liaison et couche de roulement). Dans un tel cas, le remplissage, pour la chaussée, assure le rôle de **couche de forme** sous le corps de chaussée ;

> Dans le cas d'un élargissement, le remplissage peut jouer un des quatre rôles suivants :

- il continue, comme avant l'élargissement (cas de l'ouvrage accolé), **à supporter la chaussée** dont il assure le **rôle de couche de forme** sous le corps de chaussée ;
- il **supporte localement** dans le sens longitudinal et/ou transversal **certaines parties de l'élargissement** (cas de l'encorbellement avec contrepoids ou du réseau de poutres transversales…). De plus, il supporte **la chaussée** et ses différentes couches comme dans le cas n°1 ;
- **il supporte la totalité de l'élargissement** et les charges qui s'y appliquent (cas de la dalle générale appuyée sur le remplissage), voire une **certaine partie de l'élargissement** et les charges qui s'y appliquent (cas de la dalle générale appuyée sur le remplissage et les tympans). Il joue les rôles de couche de fondation et de forme d'un dallage ;
- **il ne supporte plus de charge** (cas de la dalle générale appuyée sur les tympans…). Dans un tel cas, le **remplissage existant peut être conservé,** sauf si les désordres qui affectent la voûte (venues d'eau, désorganisation de la maçonnerie…) imposent le confortement de l'extrados de la voûte, la réfection de l'étanchéité de la ou des voûte(s) et des tympans…

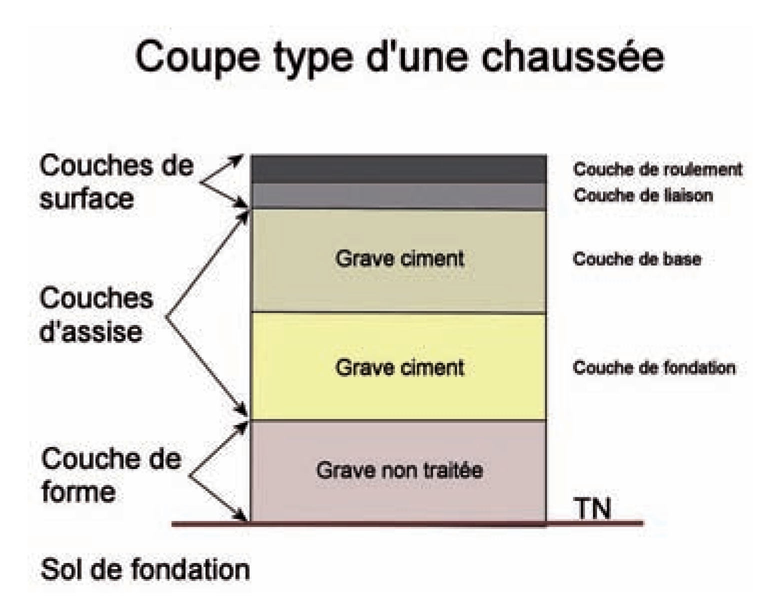


Figure n° 7 : coupe type d'une chaussée hors ouvrage

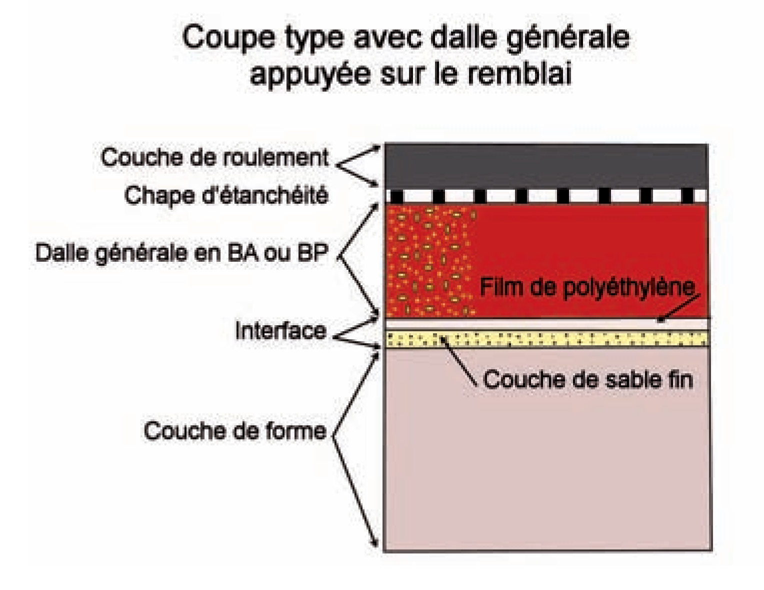


Figure n° 8 : coupe type dans le cas d'une dalle générale appuyée sur le remblai

Rappel : *la méthode d'élargissement peut conditionner la* ***position de l'étanchéité.*** *Par exemple, dans le cas d'un élargissement par dalle générale, l'étanchéité repose sur la dalle, ce qui n'empêche pas d'avoir, si nécessaire, une étanchéité basse classique à l'extrados des voûtes et sur les tympans.*

6.3.1.2 Caractéristiques que doivent présenter les matériaux de remplissage

> Pour le choix des caractéristiques des matériaux de remplissage, il faut se référer aux quatre textes suivants :

- **le fascicule 2 du CCTG** relatif aux terrassements généraux ;
- **la norme NF P 11-300 :** Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières ;
- **le guide LCPC-SETRA de 1992 pour les terrassements routiers (GTR 92) ;**
- **la norme NF P 11-213-1 (DTU 13.3) :** Travaux de dallage (voir aussi les parties 2 et 3 de cette norme) à laquelle il faut associer **le guide du SETRA GTR 92.**

Le Fascicule 2 du CCTG traite bien de la réalisation des remblais, mais il indique que le marché fixe les caractéristiques des matériaux à utiliser (granulométrie, épaisseur des couches, compactage, performances…) en s'inspirant du **GTR 92.**

La norme NF P 11-300 explicite les essais qui permettent de **classer les sols** en fonction à partir de leur diverses propriétés (granulométrie, indice de plasticité, Los Angeles, micro-Deval, humidité…).

Le GTR 92 donne les **classes de performance** à retenir pour un usage donné **remblai ou couche de forme.**

La norme NF P 11-213-1 indique le contenu de **l'étude géotechnique** à entreprendre et les essais en laboratoire à réaliser (identification, sensibilité à l'eau, aptitude au compactage, …) ainsi que **le rôle de l'interface.**

6.3.1.3 Fascicule du CCTG (pour mémoire)

Ce fascicule sur les travaux de terrassement reste très général. Il renvoie au **GTR 92** et au **CCTP**. Il est donc inutile de développer davantage ce document qui, bien entendu, doit être visé par le marché et utilisé pour la rédaction du **CCTP.**

> Rappel :

Sols à éléments fins	Granulométrie
Cailloux	D > 20 mm
Gravier	20 mm > D > 2 mm
Gros sable	2 mm > D > 0,2 mm
Sable fin	0,2 mm > D > 20 µm
Silt ou limon	20 µm > D > 2 µm
Argile	2 µm > D
Ultra-argile	0,2 µm > D

Tableau n° 2 : différentes catégories de sols à éléments fins

6.3.1.4 Norme NF P 11-300

Les sols sont des matériaux naturels constitués de grains pouvant se séparer aisément et de dimensions très variables. Ils peuvent appartenir aux **classes A, B, C et D**. Ce classement tient compte de leur nature, de leur état et de leur comportement.

> Granularité (essais visés par les normes NF P 94-056 et NF P 94-057) :

- dimension maximale des plus gros éléments Dmax :

■≤≤ 50 mm sols fins sableux et graveleux,

■≤> 50 mm sols grossiers avec des gros éléments (classe C avec des sous-classes C1 et C2 fonction de l'importance de la fraction 0/50 mm contenue) ;

> tamisat à 80 µm :

■≤≤ 12% matériaux sableux et graveleux pauvres en fine,

■≤> 35% sols dont le comportement est assimilable à celui de leur fraction fine ;

>≤tamisat à 2 mm (sépare les sols sableux des sols graveleux) :

■≤≤ 70% sols graveleux,

■≤> 70% sols sableux ;

> Indice de plasticité Ip (lié aux limites d'Atterberg[4])
(cet essai, visé par la norme NF P 94-051, indique la présence d'argile) :

■≤Ip ≤ 12% sols faiblement argileux,

■≤12% < Ip ≤ 25 sols moyennement argileux,

■≤25 < Ip ≤ 40 sols argileux,

■≤Ip > 40 sols très argileux ;

> Valeur de bleu de méthylène ou VBS exprimée en gramme de bleu pour 100 grammes de sol. Cet essai traité par la norme NF P 94-068 indique, comme l'Ip, la présence d'argile et la propreté d'un sol :

■≤VBS ≤ 0,1 correspond à un sol **insensible à l'eau** sous réserve que le tamisat à 80 µm soit inférieur à 12%,

■ VBS = 0,2 seuil au-dessus duquel un sol devient **sensible à l'eau** (sols sableux-limoneux),

■≤VBS = 1,5 seuil séparant les sols sableux-limoneux des sols sablo-argileux,

■≤VBS = 2,5 seuil séparant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne,

■≤VBS = 6 seuil séparant les sols limoneux des sols argileux,

■≤VBS = 8 seuil séparant les sols argileux des sols très argileux ;

[4] Les limites d'Atterberg incluent la limite de liquidité (W_L), la limite de plasticité (W_P) et la limite de retrait (W_R).
L'indice de plasticité Ip = W_L - W_P

> Comportement mécanique pour l'utilisation d'un sol en couche de forme :

- **Los-Angeles ou LA** (cet essai visé par la **norme NF P 18-573** indique la résistance à la fragmentation par choc des granulats) :
  - seuil retenu 45 sont distingués les sols ≤ 45 et les sols > 45,
- **micro-Deval en présence d'eau ou MDE** (cet essai visé par la **norme NF P 18-572** indique la résistance à l'attrition [frottement entre les gravillons]) :
  - seuil retenu 45 sont distingués les sols ≤ 45 et les sols > 45,
- **valeur de friabilité des sables ou FS** (cet essai visé par la **norme NF P 18-576** indique la résistance aux chocs des sables);
  - seuil retenu 60 sont distingués les sols sableux ≤ 60 et les sols sableux > 60,

> Paramètres d'état relatifs à l'environnement dans lequel se trouve le sol. Seul l'état hydrique est considéré (de très sec [ts] à très humide [th]). Trois paramètres sont utilisés pour mesurer l'incidence de cet état hydrique :

- teneur en eau naturelle ou Wn par rapport à la teneur en eau à l'optimum Proctor ou WOPN (ces essais sont visés par **les normes NF P 94-050 et NF P 94-093),**
- teneur en eau naturelle ou Wn par rapport aux limites d'Atterberg de liquidité ou WL et de plasticité ou WP (cet essai est visé par la norme NF P 94-051),
- indice portant immédiat du sol ou IPI à sa teneur en eau naturelle ou Wn qui exprime la valeur du poinçonnement CBR mesuré sans surcharge ni immersion sur une éprouvette de sol compactée à l'énergie Proctor Normal (cet essai est visé par **la norme NF P 94-078).**

La norme est complétée par des tableaux qui récapitulent les classes des sols et leurs domaines d'utilisation (pour le choix des **matériaux pour remplissage**, se reporter à l'article suivant).

6.3.1.5 GTR 92

Les deux guides du SETRA indiquent que le matériau de remplissage doit respecter **les classes B1, B3, D1 et D2** des sols conformément aux règles du **GTR 92.** Il s'agit de matériaux dont le diamètre maximum des grains (Dmax) ne dépasse pas 50 mm.

Ces guides ne précisent pas le cas où le matériau de remplissage joue le **rôle de couche de forme** en sus de celui de **couche de fondation.** Ce point est abordé brièvement ci-après.

NOTA : le GTR 92 *donne aussi* ***la structure à donner à la chaussée*** *en fonction de la catégorie de la voie (par exemple, la VRNS où se trouvent les ponts en maçonnerie et qui correspond aux routes autres que les autoroutes et voies express), la classe de plate-forme (PF2, PF3...) et la classe de trafic cumulé (TC1, TC2...) fonction du nombre de poids lourds. Le tout en liaison avec le catalogue SETRA/LCPC de 1998 sur les structures types de chaussées neuves.*

Les seuils retenus pour les différents paramètres figurent dans les tableaux de la norme NF P 11-300.

Les Classes de sols imposées aux matériaux de remplissage B1, B3, D1 et D2 *correspondent à des sols répondant aux paramètres et limites donnés par les deux tableaux suivants.* ***Lorsque la couche supérieure du remplissage joue un rôle de couche de forme,*** *les critères complémentaires selon le comportement s'imposent en sus* ***(FS ou LA et MDE)****.*

Classes B sols sableux et graveleux avec fines					
Classes pour les couches de forme					
Classes pour les remblais					
Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique	Classement selon le comportement	
Premier niveau de classification	**Deuxième niveau de classification**	**Sous classe fonction de la nature**	**Sans objet**	**Paramètres de comportement**	**Sous-classe fonction du comportement**
Dmax ≤ 50 mm et tamisat à 80 µm ≤ 35%	Tamisat à 80 µm ≤ 12% Tamisat à 2 mm >70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B1 sables silteux…	Matériaux généralement insensibles à l'eau	FS ≤ 60	B11
				FS > 60	B12
	Tamisat à 80 µm ≤ 12% Tamisat à 2 mm ≤ 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B3 graves silteuses…	Matériaux généralement insensibles à l'eau	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B31
				LA > 45 ou MDE > 45	B32

Tableau n° 3 : sols des classes B1 et B3

Classes D sols insensibles à l'eau				
Classes pour les couches de forme				
Classes pour les remblais				
Classement selon la nature			Classement selon le comportement	
Premier niveau de classification	**Deuxième niveau de classification**	**Sous classe fonction de la nature**	**Paramètres de comportement**	**Sous-classe fonction du comportement**
VBS FS ≤ 0,1 et tamisat à 80 µm ≤ 12%	Dmax ≤ 50 mm Tamisat à 2 mm > 70%	D1 sables alluvionnaires propres, sables de dune…	FS ≤ 60	D11
			FS > 60	D12
	Dmax ≤ 50 mm Tamisat à 2 mm ≤ 70%	D2 graves alluvionnaires propres, sables…	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D21
			LA > 45 ou MDE > 45	D22

Tableau n° 4 : sols des classes D1 et D2

6.3.1.6 Norme NF P 11-213-1 (DTU 13.3)

Cette norme fait référence à la norme **NF P 94-500** (déjà citée ci-devant) qui traite **des missions géologiques.**

Dans son annexe A elle décrit les différents essais à effectuer, soit in situ, en particulier l'essai à la plaque, soit en laboratoire. Pour la classification des sols et son utilisation, elle renvoie à la norme **NF P 11-300** et au **GTR 92.**

6.3.1.7 Reconnaissance des matériaux du remplissage existant

> Des différents documents susvisés, les essais suivants en laboratoire sont à pratiquer sur les matériaux du remplissage existant et ce, normalement, lors des études préliminaires. À savoir :

Identification :

- analyse granulométrique (essais visés par les normes **XP P 94-041, NF P 94-056 et NF P 94-057)** ;
- teneur en eau dit Wn (essai visé par la norme **NF P 94-050**) ;
- densité sèche et humide (essai visé par la norme **NF P 94-053**) ;
- indice de plasticité dit Ip ou limites d'Atterberg (essai visé par la norme **NF P 94-051**) et ou la valeur au bleu dite VBS (essai visé par la norme **NF P 94-068**) ;
- détermination de la masse volumique d'un matériau en place au densitomètre à membrane (essai visé par la norme **NF P 94-061-2**) ;
- détermination de la masse volumique d'un matériau en place par la méthode au sable (essai visé par la norme **NF P 94-061-3**) ;
- détermination de la masse volumique d'un matériau en place par la méthode pour matériaux grossier (Dmax > 50 mm) (essai visé par la norme **NF P 94-061-4**) ;
- détermination de la masse volumique en place par diagraphie à double sonde gamma (essai visé par la norme **NF P 94-062**) ;
- détermination de la masse volumique des particules solides d'un sol par la méthode du pycnomètre à eau (essai visé par la norme **NF P 94-054**) ;
- détermination de la teneur pondérale en matières organiques par la méthode chimique (essai visé par la norme **NF P 94-055**).

Comportement mécanique (couche de forme) :

- Los-Angeles dit LA (essai visé par la norme **NF EN 1097-2**) ;
- micro-Deval en présence d'eau dit MDE (essai visé par la norme **NF EN 1097-1**) ;
- friabilité des sables dit FS (essai visé par la norme **NF P 18-576**) ;
- coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux (essai visé par la norme **NF P 94-064**);
- coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux (essai visé par la norme **NF P 94-066**).

Paramètres hydriques :

- rapport entre W_n et W_{OPV} (voir la norme **NF P 11-300**) ;
- rapport entre W_n et W_L et W_P (voir la norme **NF P 11-300**) ;
- CBR pour l'évaluation de la force portante (essai visé par la norme **NF P 94-078**) ;

Aptitude au compactage :

- essai Proctor (essai visé par la norme **NF P 94-078**[5]) ;

> Aux essais en laboratoire, il faut y ajouter les essais in-situ :

- **essai à la plaque** (par exemple, mesure des modules de réaction EV1 et EV2 par l'essai à la plaque LCPC visé par la norme **NF P 94-117-1**. Voir également les normes **NF P 94-117-2 et NF P 94-117-3**).

La mesure **des modules de réaction** permet d'évaluer la déformabilité et la compacité d'un sol sous une charge concentrée de courte durée d'application.

Cette mesure ne concerne qu'une profondeur réduite de sol (sensiblement le rayon de la plaque). Elle ne donne aucune indication sur le comportement différé ni sous les effets d'un chargement uniforme.

Il appartient **au marché**, en fonction des résultats des essais et mesures, **d'imposer ou non le remplacement des matériaux de remplissage.**

REMARQUE : *sur certains ouvrages en maçonnerie tels que des anciens ponts ferroviaires, il est possible de trouver un* ***remplissage constitué de débris rocheux*** *qui est, normalement, bien drainant. Dans un tel cas, si le matériau est de bonne qualité (vis-à-vis de l'attrition et du gel), seul le remplacement de la partie supérieur du remplissage s'impose pour constituer la couche de forme et les couches d'assise de la chaussée, avec interposition d'un géotextile anti-contaminant. Bien entendu, l'étude géotechnique visée ci-devant doit être adaptée (se reporter à la norme* ***NF P 11-300 et au GTR 92*** *pour l'utilisation de tels matériaux).*

[5] *L'essai Proctor normal s'applique aux sols et l'essai Proctor modifié aux couches de chaussées.*

Dans le cas où il faut alléger au maximum le matériau de remplissage, il est possible d'envisager la mise en place de **«bétons très légers»** à base, par exemple, de billes de polystyrène. Les caractéristiques du béton doivent faire l'objet d'études particulières lors de la phase du projet. **Le marché** fixe les exigences qui découlent de ces études.



Photo n° 32 : béton très léger de remplissage au-dessus d'une pile du pont de Villeneuve-Loubet *(crédit photo P. Vion)*

La réalisation de contre-voûtes à l'extrados des voûtes existantes peut dans certains cas, remplacer totalement le remplissage (voir la 5[ème] partie du guide FABEM 6.3 consacrée à ce sujet).

6.3.2 MATÉRIAUX DU CORPS DE CHAUSSÉE (couches d'assise)

> ***Rappel :*** *les fascicules du CCTG font référence aux normes en vigueur, il faut s'assurer que les normes visées ne sont pas obsolètes.*

6.3.2.1 Généralités

Le GTR 92 donne aussi **la structure à donner à la chaussée** en fonction de la catégorie de la voie (par exemple, la VRNS où se trouvent des ponts en maçonnerie et qui correspond aux routes autres que les autoroutes et voies express), **la classe de plate-forme** (PF2, PF3…), **la classe de trafic cumulé** (TC1, TC2… fonction du nombre de poids lourds) et **le sol de fondation** existant. **Le GTR 92** vise le catalogue des structures types de chaussées neuves **(guide SETRA/LCPC de 1998).**

La structure de la chaussée doit être définie lors des études préalables pendant la mise au point du projet de réparation et/ou renforcement et imposée dans le **marché**.

Chaque classe de la plate-forme impose une valeur minimale pour **la force portante du sol support à long terme** (par exemple, pour une PF1, au moins 20, voire 30 MPa). Les sols classés B1, B3, D1 et D3 sans aucun traitement[6] présentent une force portante potentielle variant de 40 à 80 MPa.

Pour chaque type de plate-forme, **le module de réaction du sol de fondation EV2**, obtenu par des essais à la plaque conformément à la norme **NF P 94-117-1** doit présenter une valeur minimale (par exemple, pour une plateforme PF1, le module EV2 doit dépasser 30 MPa).

6.3.2.2 Couches d'assises à base de liants hydrauliques (graves ciment, graves laitier...)

Le fascicule 25 du CCTG sur l'exécution des corps de chaussée impose **une valeur plancher de 50 MPa** pour la portance de la couche support (le sol de fondation). Il fait référence à la norme **NF P 98-115** : Assises de chaussée – Exécution des corps de chaussée – Constituants – Composition des mélanges et formulation – Exécution et contrôles.

La fourniture des granulats pour la construction et l'entretien des chaussées est traitée par les clauses **du fascicule 23 du CCTG**. Il fait référence **à la norme XP P 18-545**, qui traite des granulats en général, dont ceux pour chaussée.

Les matériaux autocompactants, qui se mettent en place sans nécessiter de compactage, peuvent être utilisés pour la réalisation des couches d'assise (se reporter à la norme **NF P 98-115** qui traite de l'exécution des corps de chaussée). Le choix de cette solution doit tenir compte du fait qu'ils exercent des poussées latérales.

6.3.2.3 Couches d'assises à base de liants hydrocarbonés (graves bitume [GB] et enrobés à modules élevés [EME])

Le fascicule 27 du CCTG relatif à la fabrication et à la mise en œuvre des enrobés traite des graves-bitumes et des enrobés à modules élevés ainsi que des couches de surface (enrobés). Les normes françaises citées en référence **NF P 98-138** et **NF P 98-140, obsolètes,** sont à remplacer par la norme **NF EN 13108-1** et certaines des autres normes de la même série.

La fourniture des granulats pour la construction et l'entretien des chaussées est traitée par les clauses du **fascicule 23 du CCTG**. Il fait référence à la norme **XP P 18-545**, qui traite des granulats en général, dont ceux pour chaussée.

[6] Le cas des sols traités est traité dans le guide de traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques dit GTS

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

6.3.3 MATÉRIAUX DES COUCHES DE SURFACE

Rappel : les fascicules du CCTG font référence aux normes en vigueur, il faut s'assurer que les normes visées ne sont pas obsolètes.

Les couches de surface comprennent **la couche de liaison et la couche de roulement. Le fascicule 27 du CCTG** (relatif à la fabrication et à la mise en œuvre des enrobés) et les normes associées fixent les caractéristiques des matériaux à utiliser. Se reporter aussi à la norme **XP P 18-545** qui traite des granulats en général, dont ceux pour chaussée et qui n'est pas visée dans l'annexe A de ce fascicule.

6.3.4 MATÉRIAUX D'INTERFACE (pour mémoire)

Dans le cas d'un élargissement par une dalle générale reposant sur le remplissage, pour limiter le frottement entre la dalle et la couche de forme, il convient d'interposer une couche de glissement (se reporter au guide FABEM 6.3 – 6ème partie consacrée aux élargissements).

6.4.1 MATÉRIELS DE TERRASSEMENT

Dans le cas des petits ouvrages à une ou deux travées, les matériels peuvent rester sur les remblais d'accès sans circuler sur l'ouvrage. L'enlèvement du remplissage existant puis la mise en place du nouveau remplissage peuvent être effectuées à l'aide d'une pelle mécanique classique (la longueur du bras de la pelle et la taille du godet sont à adapter) et de camions de terrassement.

Dans le cas des autres ouvrages, l'entrepreneur propose, dans la **procédure de terrassement** soumise à l'acceptation du **maître d'œuvre**, le matériel qu'il compte utiliser avec les justifications et calculs nécessaires (voir, ci-après, la partie consacrée au mode opératoire).

L'utilisation de **mini-pelles** peut permettre de terrasser dans les parties en creux au droit des piles ou des culées.

Si besoin est, les **travaux de finition**, comme l'enlèvement de la dernière couche sur l'extrados et dans le fond des parties en creux, **sont à réaliser manuellement** pour éviter d'endommager la maçonnerie de l'extrados et la chape d'étanchéité.



Photo n° 33 : décaissement en cours au pont dit de 100 mètres *(crédit photo DDE 52)*

ATTENTION, *outre le nettoyage, l'état de l'extrados des voûtes et/ou des différents murs peut nécessiter un rejointoiement des pierres et la réalisation d'une couche de forme en mortier ou béton comme support d'une étanchéité en position basse.*

Dans le cas où les investigations au cours des études préalables n'auraient pas permis de bien connaître l'état de l'extrados, la qualité de la chape d'étanchéité… **le marché** doit prévoir une **clause conditionnelle** et, imposer, après l'enlèvement du remplissage et le nettoyage des extrados, un **relevé contradictoire** des parties concernées. Ce relevé peut conduire à faire des travaux de réparation comme : un rejointoiement des maçonneries, l'exécution d'une couche de forme, la réfection du drainage et la pose d'une chape d'étanchéité.



Photo n° 34 : extrados de voûtes après décaissement dont l'état nécessite un rejointoiement, la mise en place d'une couche de forme en BA et d'une étanchéité *(crédit photo LRPC)*



Photo n° 35 : voûtes après la réalisation d'un support en BA de la chape d'étanchéité *(crédit photo LRPC)*

6.4.2 MATÉRIELS DE COMPACTAGE

> Le compactage du matériau de remplissage, mis en place obligatoirement par couches successives, doit faire appel à deux sortes de matériels de compactage :

- des matériels de petites dimensions et de faible puissance pour pouvoir travailler dans les **zones d'accessibilité réduite**, telles que les parties en creux au-dessus des piles. C'est le cas de la **zone 1** de la photo ci-après ;
- des matériels classiques de compactage **non vibrants** de la **couche de forme** sous le corps de la chaussée puis du **corps** et des **couches de surface de la chaussée** sous réserve des justifications de la **procédure de terrassement** développées ci-après.



Photo n° 36 : zone d'accès difficile au pont dit de 100 mètres *(crédit photo DDE 52)*

> ***Rappel :*** *le choix de certains matériaux permet de limiter les opérations de compactage au strict minimum.*

NOTA : *Les zones d'accessibilité réduite* ***(zones 1)*** *concernent également le cas d'un élargissement par poutres transversales ou celui par encorbellement avec contrepoids…*

Dans le cadre de la **procédure de terrassement,** le matériel de compactage est proposé par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** avec les justifications et calculs nécessaires (voir, ci-après, la partie consacrée au mode opératoire).

L'entrepreneur doit justifier que **la densification du remblai et/ou le module de réaction à la plaque EV2,** dont les valeurs sont fixées par le **marché** pour les différentes couches, peuvent être obtenues de façon à permettre la réalisation du **type de plate-forme** fixée par le **marché**.

Les matériels de compactage sont visés par les normes **NF P 98-705** (Matériels de construction et d'entretien des routes – Compacteurs – Terminologie et spécifications commerciales) et **NF P 98-736** (Matériels de construction et d'entretien des routes – Compacteurs – Classification).

> Avant tout déblaiement, l'entrepreneur doit proposer à l'acceptation du maître d'œuvre :

- **la note de calculs** sur la stabilité et la résistance des voûtes, des élégissements éventuels, des appuis et des différents murs durant toutes les phases de terrassement et de compactage ;
- **une procédure de terrassement qui comporte deux volets :**
  - un sur l'enlèvement des matériaux de remplissage existants ;
  - un sur le remblaiement et le compactage de serrage des différentes couches des matériaux de remplacement.

Les opérations de terrassement, pour l'enlèvement des matériaux existants puis la mise en place des nouveaux matériaux de remplissage, sont effectuées conformément aux dispositions de **la procédure de terrassement** qui reprend les exigences du **marché**.

6.5.1 TERRASSEMENTS DÉBLAIEMENT

Le déblaiement doit être mené avec d'infinies précautions. Il faut envisager de travailler par couches successives de façon parfaitement symétrique, de part et d'autre de la voûte, en évitant, pour les voûtes courbes, de disposer les engins au droit de la clé de voûte. Il faut éviter les poussées dissymétriques sur l'extrados.

ATTENTION, *lors du déchargement ou du rechargement de* ***voûtes en arc brisé****, il peut être nécessaire* ***de charger les clés des voûtes*** *pour éviter tout désordre.*

Pour un ouvrage à plusieurs voûtes, l'opération peut être réalisée arche par arche, après s'être assuré que la poussée des arches pleines n'agit pas sur le vide créé au droit d'une arche. Dans ce cas, le remplissage avec le matériau de substitution se fait lui aussi à l'avancement.

Après achèvement du déblaiement, une purge est réalisée sur l'extrados de la voûte ainsi que sur les parois intérieures des tympans. Cette purge a pour but d'éliminer totalement les dépôts de matériaux provenant des remblais et de s'assurer de la qualité de la structure de ces parements. Des rejointoiements peuvent être nécessaires, les maçonneries sont parfois à rebâtir dans certaines zones.

Rappel : *la remise en état de la chape d'étanchéité et des dispositifs de drainage peut faire partie des travaux à exécuter.*

6.5.2 TERRASSEMENTS REMBLAIEMENT RÉALISATION DE LA COUCHE DE FORME

Le remblaiement répond aux mêmes précautions que pour le déblaiement. Le remplissage doit respecter une bonne symétrie de chargement afin d'éviter les efforts différentiels sur l'extrados de la voûte.

Dans le cas d'une voûte en arc brisé, en plein cintre ou s'en approchant, avec une épaisseur de maçonnerie relativement faible, il faut envisager de charger provisoirement la zone de clé afin d'éviter de la voir remonter lorsque le remblai commence à exercer une pression horizontale et symétrique sur les zones de reins.

L'approvisionnement doit se faire régulièrement et alternativement (sans décalage supérieur à un différentiel d'une couche) de part et d'autre de la voûte, sans jamais passer par-dessus la voûte.

6.5.2.1 Matériaux naturels compactés

L'emploi de remblais en grave naturelle nécessite une mise en œuvre par couches successives de 25 à 30 cm, compactée au cylindre sans vibration. Sur les zones proches du corps de voûte, en influence directe avec celle-ci, le compactage se fait avec un compacteur tracté manuellement. Le compactage hydraulique n'est pas une bonne solution, car la grande quantité d'eau dont il faut faire usage a souvent du mal à s'évacuer et son écoulement s'accompagne généralement de fines particules laissant le remblai trop cru.

6.5.2.2 Béton hydraulique

Le remblai en béton hydraulique peut être utilisé **(après son durcissement)** pour éviter les poussées sur les tympans. Le béton est mis en œuvre par couches de 30 cm au maximum, gravitairement ou à la pompe, et est serré par aiguilles vibrantes. Dans tous les cas, la progression de mise en œuvre ne doit pas dépasser les contraintes admissibles par les tympans. Des armatures passives peuvent être scellées au préalable, dans les tympans, afin de relier ces derniers au béton de remblai.

Dans cette solution, **l'ouvrage devient monolithique et son fonctionnement est radicalement modifié** par rapport à la souplesse que lui donnait, auparavant, son remblai naturel. Il faut veiller, dans ce cas, à lier mécaniquement le corps de voûte au béton (se reporter au paragraphe traitant des contre-voûtes dans le guide FABEM 6.3).

6.5.2.3 Matériaux autocompactants

Ces matériaux se mettent en place sans nécessiter de compactage. **Le marché** précise les conditions de leur mise en œuvre, car ils exercent des poussées latérales sur les tympans (se reporter à la norme **NF P 98-115** qui traite de l'exécution des corps de chaussée (les matériaux autocompactants font partie des composants utilisables).

6.5.3 RÉALISATION DES COUCHES D'ASSISE DE LA CHAUSSÉE (pour mémoire)

Se reporter au **fascicule 25 du CCTG** sur l'exécution des corps de chaussée à base de liants hydrauliques (graves ciment…) et **au fascicule 27 du CCTG** sur l'exécution des corps de chaussée à base de liants hydrocarbonés (graves bitume…).

6.5.4 RÉALISATION DES COUCHES DE ROULEMENT (POUR MÉMOIRE)

Se reporter au **fascicule 27 du CCTG** sur l'exécution des couches de surface.

6.5.5 COMPACTAGE

> **Le compactage des zones d'accès difficile (zones 1)** peut s'inspirer des exigences de la norme **NF P 98-331** relative aux chaussées et dépendance (tranchées : ouverture, remblayage, réfection). Celle-ci fixe des objectifs de **densification** pour le remblai (q4) et, pour sa partie supérieure directement sous le corps de chaussée (q3), dans son tableau 7. Elle fixe également des épaisseurs minimales pour ces couches.

Les tableaux de compactage de la norme **NF P 98-736** (relative aux engins de compactage) fixent les épaisseurs et le nombre de passes à effectuer en fonction du compacteur utilisé.

> **Le compactage de la zone d'accès facile (zone 2), c'est-à-dire de la partie supérieure du remplissage accessible aux engins autorisés par la force portante de l'ouvrage, doit satisfaire aux dispositions :**

- **du fascicule 2 du CCTG** (terrassements généraux) relatives à la PST (partie supérieure des terrassements) et à la couche de forme (juste sous le corps de chaussée) ;
- **du fascicule 25 du CCTG** avec une valeur minimale **du module EV 2 > 50 MPa** et/ou à la valeur minimale fixée par le **marché** pour le **type de plate-forme retenu.**

La valeur du module minimal de 50 MPa peut aussi être retenue dans le cas **d'un élargissement par dalle générale appuyée sur le remplissage.**

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Rappel : les fascicules du CCTG font référence aux normes en vigueur, il faut s'assurer que les normes visées ne sont pas obsolètes.

6.6.1 ESSAIS ET CONTRÔLES DU REMPLISSAGE

> Les objectifs de densification pour les zones d'accès difficile (zones 1) peuvent être contrôlés par les deux types d'essais suivants visés par la norme NF P 98-331 :

- essais au pénétromètre utilisé en fonction B selon la norme **XP P 94-105**,
- essais au gammadensimètre selon la norme **NF P 94-061-1**.

Le marché fixe la fréquence des contrôles de densification, car la fréquence visée par la norme **NF P 98-331** n'est pas applicable au remblaiement d'un pont en maçonnerie.

Les objectifs de module de réaction pour la zone 2 sont mesurés par **des essais à la plaque.** Ces essais sont visés par la norme **NF P 94-117-1.**

Le marché fixe la fréquence des contrôles à la plaque, car les indications **du fascicule 2** et **du fascicule 25 du CCTG** s'appliquent à la construction des routes au linéaire important et non au cas de travaux sur un pont en maçonnerie.

6.6.2 ESSAIS ET CONTRÔLES DES COUCHES D'ASSISE (corps de chaussée)

Se reporter au **fascicule 25 du CCTG** si les matériaux sont à base de liants hydrauliques et au **fascicule 27 du CCTG** lorsque les matériaux sont à base de liants hydrocarbonés.

6.6.3 ESSAIS ET CONTRÔLES DES COUCHES DE SURFACE (couche de liaison et de roulement)

Se reporter au **fascicule 27 du CCTG** relatif à la fabrication et la mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés.

6.7 Réception des travaux (pour mémoire)

Se reporter au paragraphe 6.11 du guide FABEM 6.1.

7

Protection contre les eaux des ouvrages en maçonnerie

UNE ÉDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEBROER 2011

7.1 Documents de référence

- ***Le guide technique du SETRA de juin 1989*** *traite de l'assainissement* ***des ponts-routes :*** *évacuation des eaux, perrés, drainage, corniches–caniveaux (généralités, descriptions, dispositions constructives et règles de dimensionnement des ouvrages d'évacuation des eaux) ;*

- ***Le guide technique du SETRA de mai 1992*** *traite de la protection contre l'action des eaux sur* ***les ponts-routes en maçonnerie.*** *Après un exposé sur les conséquences d'un défaut d'étanchéité sur une voûte et un historique sur les dispositions des ponts en maçonnerie en matière de drainage et d'étanchéité, il développe le rôle du matériau de remplissage et traite dans le détail des trois positions possibles des chapes d'étanchéité. En final, il développe les dispositions à retenir pour assurer le drainage des eaux.*

- ***Le guide technique du SETRA de décembre 2001*** *sur l'élargissement des ponts en maçonnerie traite également du drainage et des chapes d'étanchéité en particulier, grâce aux nombreux croquis très détaillés qui l'illustrent.*

La présente partie du guide FABEM 6.2 tente de ne pas paraphraser les trois guides du SETRA très complets auxquels il est impératif de se reporter. Elle rappelle et insiste **sur les points essentiels** qui conditionnent la réussite d'une telle opération de protection contre les eaux. Elle comporte cependant quelques compléments et conseils. Elle **développe également des points non traités par les guides susvisés,** comme les actions d'érosion des eaux des cours d'eau sur la maçonnerie et les remontées des eaux et sels du sol au travers de la maçonnerie. Elle traite aussi du cas particulier des ponts-rails en maçonnerie.

7.2.1 GÉNÉRALITÉS

La figure ci-dessous montre qu'un pont en maçonnerie, comme tous les ponts, est soumis **à l'attaque d'eaux** en provenance de diverses origines : eaux de pluie, eaux de ruissellement, eaux du cours d'eau…

> Les constructeurs au cours des âges ont cherché des solutions pour se prémunir contre les diverses attaques et tout particulièrement :

- des eaux qui ruissellent à la surface de l'ouvrage, au moyen des pentes longitudinales et transversales de la chaussée ;
- des eaux qui s'infiltrent dans les matériaux de remplissage des voûtes pour arriver au contact de la maçonnerie, au moyen de remblais plus ou moins drainants, de drainages internes et de chapes d'étanchéité
- des eaux qui remontent dans les maçonneries enterrées…

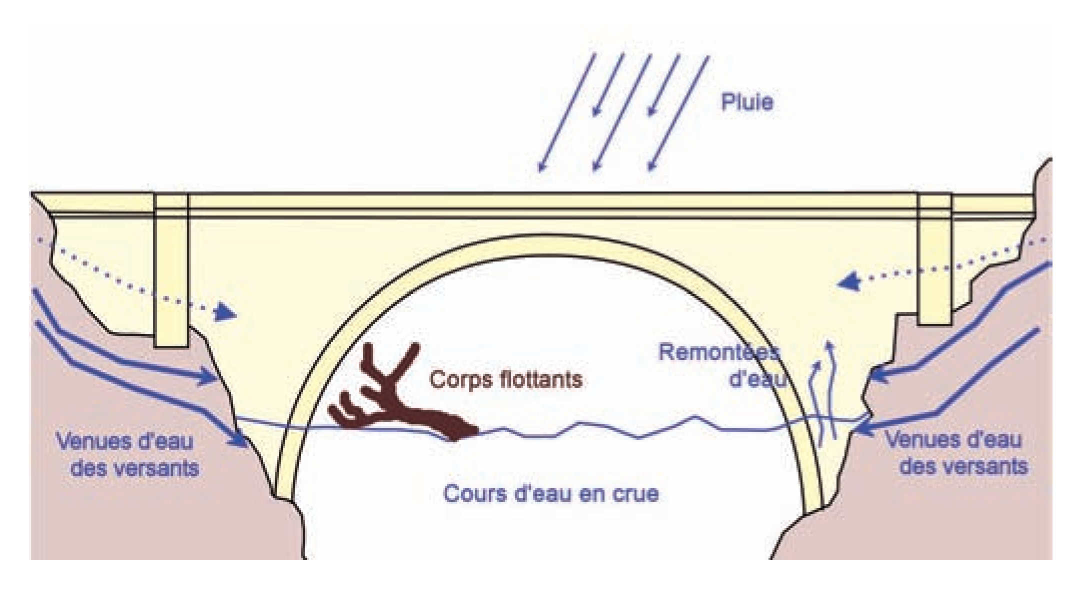


Figure n° 9 : diverses origines des eaux qui agressent un pont en maçonnerie

7.2.2 DRAINAGE DES EAUX DE SURFACE



Photo n° 37 : pont en dos d'âne de Céret dans les Pyrénées-Orientales *(crédit photo D. Poineau)*

Les chaussées et trottoirs des ponts anciens n'étaient pas revêtus ou étaient revêtus de pavés. Pour limiter les risques d'infiltration dans le corps du remplissage, les constructeurs jouaient sur les pentes longitudinales et transversales de l'ouvrage pour faciliter l'évacuation des eaux, d'où les **ponts en dos d'âne** (le dos d'âne permettait aussi d'augmenter la hauteur disponible sous l'ouvrage).

Cependant, lorsque la topographie des lieux ne permettait pas de créer une pente longitudinale suffisante, certains constructeurs concevaient des évacuations transversales des eaux efficaces.

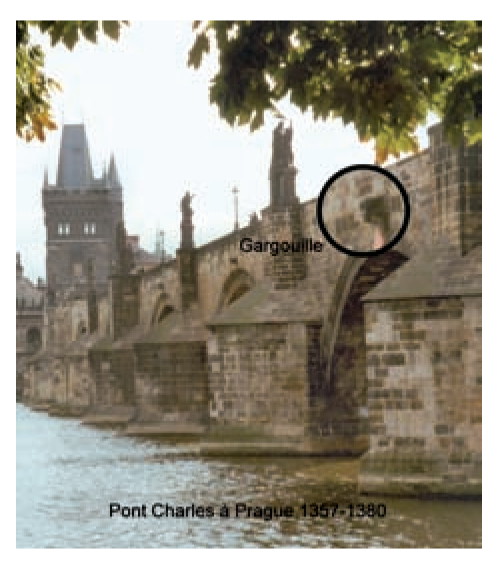


Photo n° 38 : gargouille du pont Charles à Prague *(crédit photo D. Poineau)*

Nombreux, cependant, sont les ouvrages quasiment plats ou pire situés au **point bas du tracé routier,** ce qui permet aux eaux des deux versants de couler vers l'ouvrage.



Photo n° 39 : pont en point bas *(crédit photo CETE de l'Ouest - Jacques Billon)*

7.2.3 MATÉRIAUX DE REMPLISSAGE

Le remblai des ponts-rails est souvent constitué de pierres sèches (éclats de la taille des pierres) soigneusement rangées pour assurer un drainage efficace. C'est rarement le cas des petits ponts-routes pour lesquels les constructeurs ont utilisé les matériaux disponibles sur place, allant des sables aux matériaux argileux souvent mélangés à des morceaux de blocs issus de la construction. Le remplissage des ponts-routes exceptionnels était choisi avec plus de soin.

NOTA : *la partie 6 du présent guide qui traite du* ***remplacement du remplissage,*** *décrit dans le détail les rôles des matériaux de remplissage et les investigations à pratiquer pour en connaître les propriétés. Elle indique également les caractéristiques à exiger de ces matériaux.*

7.2.4 DRAINAGE DES EAUX INFILTRÉES DANS LE REMBLAI

Les chaussées et les trottoirs des ponts-routes pouvaient être revêtus de pavés mais pas toujours. Les ponts-rails, eux, n'étaient pas revêtus. L'eau de pluie pouvait donc pénétrer plus ou moins dans le remblai. Des dispositifs étaient donc nécessaires pour recueillir ces eaux d'infiltration.



***Photo n° 40 : pont de Lesdiguières [1608-1611] sur le Drac à Claix près de Grenoble** (crédit photo J. L. Michotey)*

> Dans les ponts existants bien conçus :

- **transversalement :** le dessus de la voûte est recouvert d'un béton maigre à base de chaux ou de ciment d'épaisseur variable recouvert par la chape d'étanchéité de façon à créer des formes de pentes dirigeant les eaux vers un drain recouvert de pierres sèche ;

- **longitudinalement sur les piles :**

  - soit les eaux sont ramenées vers le creux à la jonction des deux voûtes adjacentes où se trouve placée une gargouille coiffée d'une crépine. La gargouille évacue les eaux, soit au travers de la voûte, soit descend dans le corps de la pile jusqu'à une chambre de visite et d'entretien où les eaux s'écoulent à l'extérieur,

  - soit un béton maigre remplit le triangle curviligne situé à la retombée des deux voûtes adjacentes pour que le drain posé sur la chape puisse ramener les eaux vers une gargouille coiffée d'une crépine située sensiblement aux reins et placée dans une chambre de visite et d'entretien accessible par le dessus de l'ouvrage (cette disposition permettait de réduire la hauteur de la chambre et surtout empêche, par temps de crue, le refoulement de l'eau dans la structure).

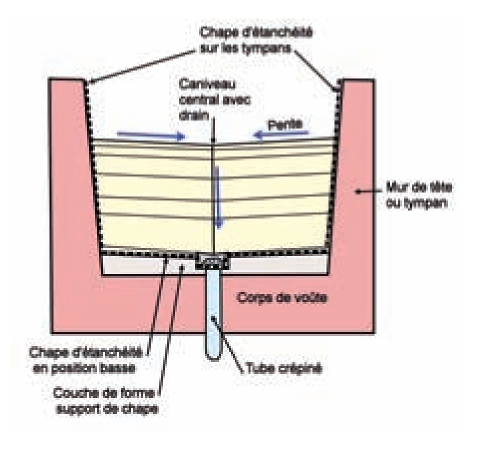


Figure n° 10 : schéma du drainage transversal d'un pont en maçonnerie

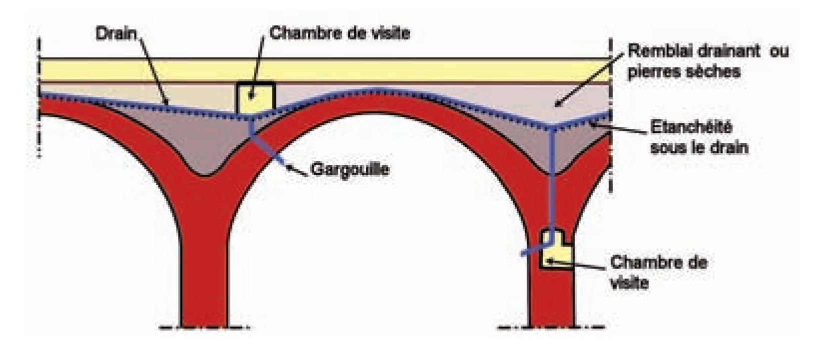


Figure n° 11 : schéma du drainage longitudinal d'un pont en maçonnerie

Dans les grands ponts en maçonnerie, les élégissements longitudinaux ou transversaux pouvaient permettre l'accès aux dispositifs de drainage.

ATTENTION : *les élégissements sont parfois cachés par les murs de tête. Il est indispensable dans un tel cas de réaliser des trappes d'accès et de visite pour permettre la surveillance de l'intérieur de la structure.*

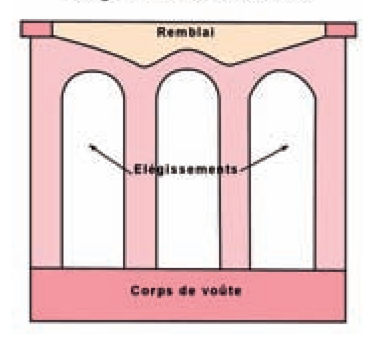


Figure n° 12 : élégissements longitudinaux



Photo n° 41 : intérieur d'un élégissement
(crédit photo Michotey)

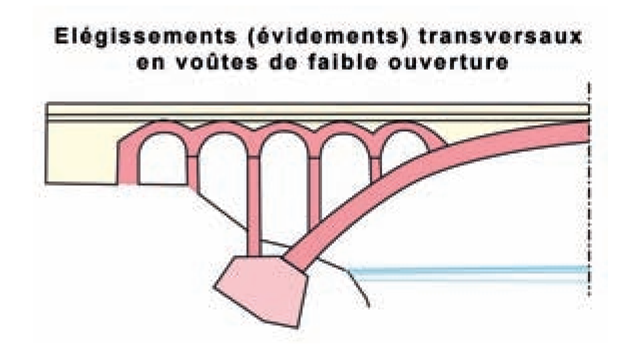


Figure n° 13 : élégissements transversaux

7.2.5 CHAPES D'ÉTANCHÉITÉ

Les chapes d'étanchéité des ponts en maçonnerie sont généralement posées sur une couche de béton maigre ou de mortier avec formes de pentes pour faciliter l'évacuation des eaux vers les dispositifs de drainage.

La face intérieure des murs de tête et en retour peut aussi être revêtue d'une chape en mortier de chaux d'environ 1 cm d'épaisseur ou d'asphalte de même épaisseur.

Suivant les périodes, les particularités locales et les matériaux disponibles, diverses solutions étaient employées, comme le montre ce tableau synthèse de diverses sources. Ces informations sont données à titre indicatif, elles doivent être obligatoirement corroborées par les ouvertures de fenêtres et les sondages à réaliser lors de l'étude préliminaire.

Période	Voûtes
Jusqu'au XVIIe et XVIIIe siècle pour les ponts courants.	Couche d'argile pilonnée d'environ 5 cm d'épaisseur.
Jusqu'au XIXe siècle plusieurs solutions étaient utilisées.	Chape en chaux de 5 à 10 cm en 2 couches battues avec une «savate» (bloc de bois).
Au XIXe siècle pour les grands ouvrages.	Contre-chape en béton maigre de 4 cm ; 1,5 cm d'enduit asphaltique remonté et engravé en haut des murs ; Enduit sur la voûte de 2 à 5 cm de ciment dosé à 450 kg/m³.
Au XIXe siècle pour autres ouvrages.	Contre-chape en béton maigre de 4 cm ; Couche de coaltar ; Enduit sur la voûte de 4 cm de ciment dosé à 450 kg/m³.
Au XIXe et XXe siècle pour les ponts-canaux et aqueducs.	Feuilles de plomb[7].
Au XXe siècle (jusque vers les années 50 avec la reconstruction des ouvrages pour faits de guerre).	2 couches d'asphalte de 0,8 cm coulées croisées, la seconde étant en asphalte sablé ; Couche de papier bisulfité servant de pare-vapeur ; Enduit sur la voûte de 2 à 5 centimètres de ciment dosé à 450 kg/m³.

Tableau n° 5 : différentes chapes d'étanchéité

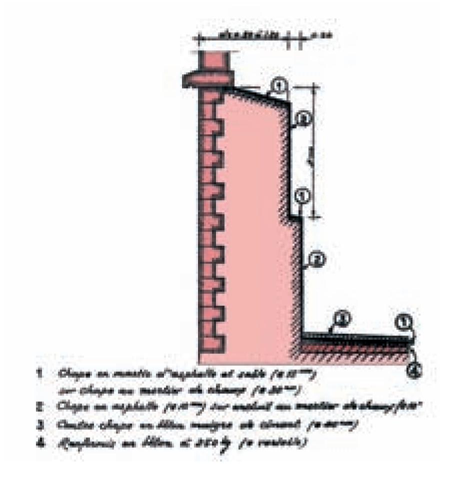


Figure n° 14 : dispositions en matière d'étanchéité extraite du cours de pont de G. Grattesat *(polycopié de l'ENTPE 1959)*

[7] *Ce type d'étanchéité doit impérativement être remplacé, le plomb pouvant présenter des risques graves pour la santé.*

7.2.6 INCIDENCES DE LA LOI SUR L'EAU

La loi sur l'eau, promulguée en 1993, a fait l'objet d'un certains nombre de décrets d'application et également de décrets modificatifs.

Le code de l'environnement (article L 211-1) impose : «la protection des eaux et la lutte contre toute pollution par déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects de matières de toute nature et plus généralement par tout fait susceptible de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux en modifiant leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques, qu'il s'agisse des eaux superficielles, souterraines ou des eaux de la mer dans la limite des eaux territoriales».

> La pollution peut être due :

- aux travaux, elle a alors un caractère temporaire ;
- à la circulation, elle est permanente avec des pointes par temps de pluie ;
- aux produits de déverglaçage, elle a ici un caractère saisonnier ;
- au déversement de produits nocifs, toxiques lors d'un accident…

> Elle a un impact plus ou moins important suivant la fragilité du milieu récepteur :

- zone de captage d'eau potable… ;
- eaux captives (étang, lac…), zones humides (marais, tourbière…) ;
- zones de frayère, de pisciculture ;
- zones de baignade ;
- cours d'eau à faible débit…

Sauf exception, la surface occupée par la route de part et d'autre d'un pont est nettement plus importante que celle du pont. **Il faut donc étudier les risques et les conséquences d'une pollution liée à un ouvrage en y ajoutant les pollutions dues à l'ensemble du réseau routier adjacent qui peuvent converger vers le pont.** Cette étude peut imposer la création d'un **bassin de rétention** ou d'un **dispositif de traitement des effluents,** d'un raccordement au **réseau d'assainissement…**

Les articles L 214-1 et L 214-6 du code de l'environnement visent une nomenclature qui liste les opérations qui doivent faire l'objet d'une **autorisation** préfectorale et celles qui ne nécessitent qu'une **déclaration.** Cette nomenclature relève **du décret «nomenclature»** du 29 mars 1993 modifié par le décret du 17 juillet 2006.

Les 24 rubriques de ce décret sont ventilées dans 5 titres dont deux peuvent éventuellement concerner les travaux de réhabilitation d'un pont existant :

> Le titre 2 «rejets» :

- nomenclature 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales dans les eaux superficielles (cas d'un élargissement concernant l'ouvrage en même temps que la **voie portée** de part et d'autre du franchissement, ce qui peut entraîner une augmentation importante de la surface du bassin versant),
- nomenclature 2.2.3.0 : rejets dans les eaux de surface (à cause des matières en suspension, des métaux, des hydrocarbures, des sels de déverglaçage… contenus dans ces rejets).

> Le titre 3 «impact sur le milieu aquatique ou la sécurité publique» :

- nomenclature 3.1.1.0 : installation dans le lit mineur créant :
  - un obstacle à l'écoulement des crues (cas de travaux sur les fondations),
  - ou un obstacle à la continuité écologique,
- nomenclature 3.1.2.0 : modification du profil en long ou en travers du cours d'eau (cas d'une dérivation provisoire du cours d'eau pour travaux sur les fondations),
- nomenclature 3.1.3.0 : impact sur la luminosité (cas d'un élargissement),
- nomenclature 3.1.5.0 : destruction des frayères (cas de travaux dans le lit d'un cours d'eau),
- nomenclature 3.2.1.0 : travaux d'entretien (cas des travaux de dragage),
- nomenclature 3.2.2.0 : installation dans le lit majeur (cas d'un élargissement),

*L'étude des risques et des conséquences d'une pollution liées à un ouvrage à construire ou à réparer est de la **responsabilité du maître d'ouvrage** qui prend toute les dispositions pour faire les déclarations ou obtenir les autorisations nécessaires. Dans le **marché**, il en impose les **contraintes spécifiques à l'entrepreneur.***

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Conséquences d'une mauvaise protection contre les eaux

Les conséquences d'une mauvaise protection contre les eaux de pluie, les eaux courantes (rivière, torrent) et les remontées d'humidité et de sels figurent dans le **paragraphe 4.3.2 du guide FABEM 6.1** auquel le lecteur est invité à se référer.

Les réparations des effets de l'action des eaux courantes sur la maçonnerie (dissolution des joints, abrasion…) sont traitées dans le paragraphe relatif aux rejointoiements.

Le traitement des remontées d'eau dans les maçonneries est développé dans le paragraphe 7.7.2 ci-après.

La réfection de l'étanchéité et des dispositifs de drainage d'un pont en maçonnerie s'inscrit, le plus souvent, soit dans une opération de remise en état de l'ouvrage (rejointoiement, remplacement des pierres, reprise des fondations…), soit dans une opération d'élargissement avec ou sans remplacement des matériaux du remplissage.

> Différentes solutions de réfection sont traitées ci-après. Le choix de la solution à retenir doit faire l'objet d'une étude approfondie inspirée des développements des trois guides du SETRA et, en particulier, de l'organigramme décisionnel du guide de mai 1992 qui donne la démarche à suivre (programme des investigations, programme des études, choix du type d'étanchéité…). Ce choix doit prendre en compte :

- les résultats des **investigations préalables** et, en particulier, l'état de la maçonnerie à l'extérieur mais aussi à l'intérieur de l'ouvrage, y compris des f**ondations qui peuvent être en état précaire ;**
- les contraintes imposées au chantier, sous réserve qu'elles ne risquent pas de conduire à une totale inefficacité de la solution de réfection ;
- les autres travaux de réparation ou d'élargissement à effectuer ;
- la mise en place de dispositifs de retenue ;
- l'ordre dans lequel doivent être exécuté les différents travaux ;
- les caractéristiques du site dans lequel se situe l'ouvrage (vallée sèche, cours d'eau…) ;
- les caractéristiques de l'ouvrage (pont qualifié de courant, viaduc, existence d'un élargissement…) ;
- **les points où les eaux peuvent s'infiltrer ou s'infiltrent dans la structure** (voir les explications ci-après)…

> Il convient de noter que :

- **la protection contre les eaux de pluie** est «relativement» facile à traiter par la mise en place d'une étanchéité et de dispositifs de drainage des eaux de ruissellement ;
- la **protection contre les eaux d'infiltration** (eaux de pluie ou du cours d'eau) est plus complexe. Les figures ci-après montrent que, suivant le site, la géométrie du pont, l'origine des eaux et les zones de passage des eaux, il faut, si nécessaire, adapter et modifier les solutions types, en particulier au niveau des culées et des travées de rive souvent les plus exposées.

> Cas des ponts situés en fond d'une vallée étroite :

Les eaux d'infiltration en provenance des versants peuvent arriver au contact de la culée. Les eaux du cours d'eau, qui s'infiltrent directement dans les sols et remblais ou par les dispositifs d'évacuation des eaux (gargouilles) et ceux de drainage (tranchée drainante), peuvent aussi parvenir au contact de la culée. La mise en place d'une chape d'étanchéité, au moins à l'extrados de la culée, peut s'avérer nécessaire si le décaissement n'est pas d'un coût prohibitif (cas des ponts avec des tympans de grande hauteur). La réalisation de drains subhorizontaux peut permettre de récupérer les eaux d'infiltration.

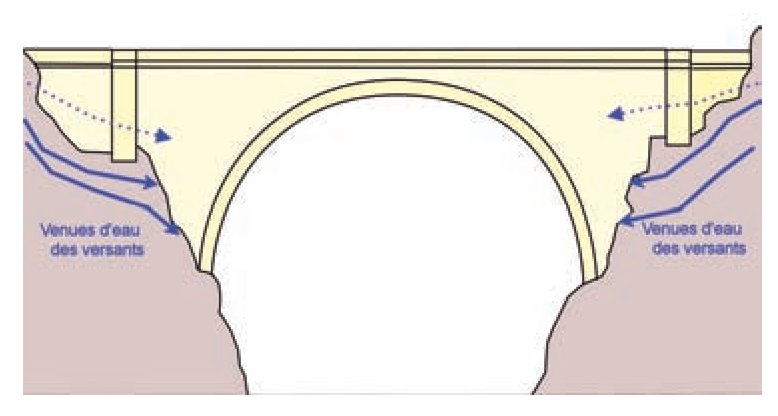


Figure n° 15 : pont situé en fond de vallée étroite

> Cas des ponts situés dans une vallée large à faible hauteur au dessus du terrain naturel :

Les eaux des versants ne sont pas à craindre, mais les eaux du cours d'eau peuvent s'infiltrer comme précédemment, surtout pendant les crues. La mise en place d'une chape d'étanchéité, au moins à l'extrados de la culée, peut s'avérer nécessaire. Ici, le décaissement n'est pas prohibitif.

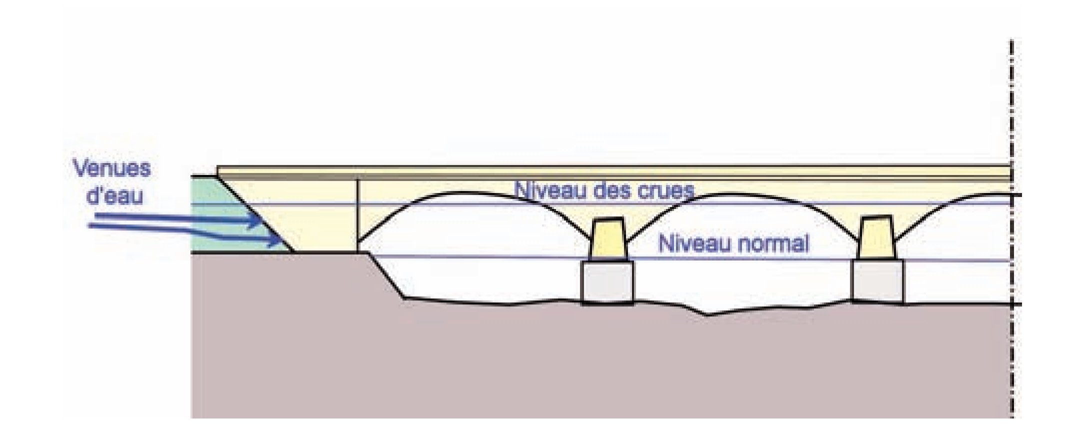


Figure n° 16 : pont situé dans une vallée large à faible hauteur au-dessus du TN

> Cas des ponts franchissant une voie ferrée, une route… et des viaducs :

Ici, seules les eaux des versants peuvent être à craindre si, aux extrémités de l'ouvrage, la voie portée est en déblai. Lorsqu'elle est en remblai, le problème est moins crucial et une tranchée drainante peut suffire pour récupérer les eaux infiltrées dans le remblai. Cependant, certains appuis peuvent être concernés par des remontées d'humidité et de sels.

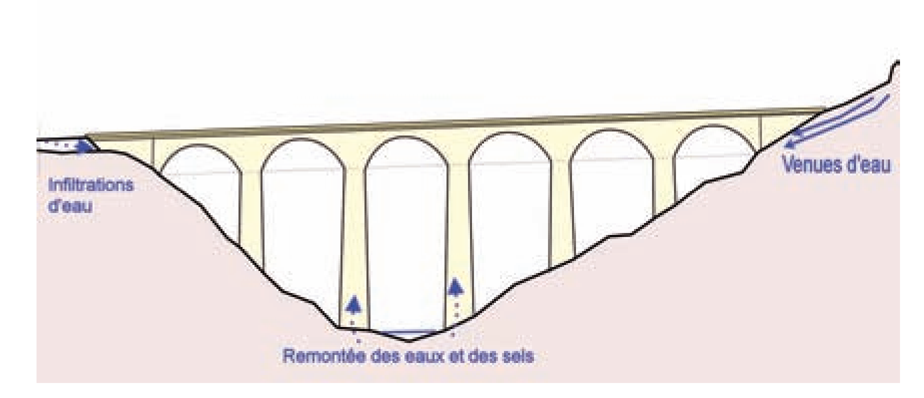


Figure n° 17 : viaduc avec remblais et déblais

> Cas des ponts situés sous un remblai de grande hauteur :

Dans un tel cas, les solutions classiques ne sont pas applicables. Il faut utiliser les solutions de reprise des étanchéités **des ouvrages souterrains. Se reporter titre III du fascicule 67 du CCTG et aux recommandations de L'AFTES et aux guides du CETU.**

*Se reporter **au guide FAEQ 2** et aux documents cités en référence.*



Photo n° 42 : galerie en maçonnerie sous un haut remblai et l'aqueduc de Buc *(crédit photo CDOA des Yvelines)*

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

La photo suivante montre que la réalisation d'une étanchéité par l'intrados est une opération difficile à réaliser.



Photo n° 43 : fuite après injections de la maçonnerie et réalisation d'un enduit d'étanchéité *(crédit photo D. Poineau)*

En conclusion, la protection contre les eaux de pluie et de ruissellement, voire d'infiltration peut être assurée, d'une part par la réalisation d'une **chape d'étanchéité** et, d'autre part par la réalisation de **dispositifs de drainage.** Ces deux points sont développés dans les trois paragraphes 7.5, 7.6 et 7.6.3 qui suivent.

7.5.1 GÉNÉRALITÉS

Rappel : *l'organigramme décisionnel du* **guide du SETRA de mai 1992** *donne une démarche sur le choix de la position de la chape d'étanchéité qui peut occuper les trois positions suivantes :*

- **la position basse,** c'est-à-dire directement sur l'extrados de la voûte après un décaissement total ou quasi-total de l'ouvrage ;
- **la position intermédiaire** sous le corps de chaussée, ce qui nécessite un décaissement partiel.
- **la position haute,** c'est-à-dire directement sous la couche de roulement.

La suite du texte explicite les **avantages et les inconvénients** de ces **trois solutions,** ce qui permet de choisir, pour un pont donné, la **solution qui présente le meilleur rapport coût-efficacité** dans le respect des contraintes imposées par le **maître d'ouvrage** et/ou le **gestionnaire**.

Dans le cas des **ponts-rails,** lorsque la mise en œuvre d'un **complexe d'étanchéité adhérent en position basse** n'est pas vraiment possible (impossibilité de dévier le trafic par une autre ligne, durée des travaux à réduire au maximum...) les solutions de **chapes d'étanchéité en position haute** sont privilégiées.

ATTENTION :

- ***les eaux peuvent s'infiltrer entre la chape d'étanchéité et l'extrados d'une voûte*** *si la chape est en position intermédiaire ou haute, en particulier au niveau des culées et des arches de rive... Ce phénomène peut affecter certains des types de ponts visés au paragraphe 7.4. Dans un tel cas, une étanchéité en position basse sur ces parties exposées peut être nécessaire ;*
- *si la maçonnerie présente une résistance insuffisante aux effets du gel, il appartient au projet de définir la meilleure solution, quitte à prévoir une double protection et également le blocage des remontées d'humidité...*

Dans le cas d'un élargissement, il faut que la position de la chape d'étanchéité soit compatible avec le type d'élargissement retenu. Le **tableau** suivant donne les choix possibles.

Type d'élargissement	Position de la chape d'étanchéité			Observations
	Basse	Intermédiaire	Haute	
Dalle générale appuyée totalement, partiellement ou non sur le remplissage	Si nécessaire, sur arches de rive, culées…(*)		**Oui**	
Encorbellement avec contrepoids	Si nécessaire, sur arches de rive, culées…(*)	**Oui**		
Réseau de poutres transversales	Si nécessaire, sur arches de rive, culées…(*)	**Oui** (idem encorbellement)		Attention à l'étanchéité du joint longitudinal
Poutres ou dalles latérales reposant sur les appuis de l'ouvrage	Si nécessaire, sur arches de rive, culées…(*)	**Oui** (idem encorbellement)		Attention à l'étanchéité du joint longitudinal
Dalle générale reposant sur les appuis de l'ouvrage	Si nécessaire, sur arches de rive, culées…(*)		**Oui**	
Voûte en béton armé accolée à l'ouvrage	**Oui**			Attention à l'étanchéité du joint longitudinal entre les deux ouvrages
Portique accolé à l'ouvrage existant	Si nécessaire, sur arches de rive, culées…(*)		**Oui**	Attention à l'étanchéité du joint longitudinal entre les deux ouvrages
Prolongement de voûte	**Oui**		**Oui**	Attention au raccordement avec l'étanchéité existante
Pontage	Si nécessaire, sur arches de rive, culées…(*)		**Oui**	

Tableau n° 6 : position de la chape d'étanchéité suivant le type d'élargissement

(*) Cas de venues d'eau par les versants…

Les propriétés des chapes d'étanchéité, les conditions de leur mise en œuvre et les contrôles à effectuer sont développées dans le **titre 1 du fascicule 67 du CCTG** ainsi que **dans le guide du SETRA STER 81.** Les procédés d'étanchéité des ponts en maçonnerie ne relèvent pas de la procédure des avis techniques, même si certains procédés qui en relèvent peuvent être utilisés. La remise en état des étanchéités est traitée par le **guide STRRES FAEQ 2.**

7.5.2 CHAPE D'ÉTANCHÉITÉ EN POSITION BASSE

7.5.2.1 Généralités

Le guide de mai 1992 détaille les avantages et les inconvénients de cette solution et **indique en conclusion que c'est la meilleure et la plus efficace,** même si elle oblige à une coupure de l'ouvrage relativement longue.

***ATTENTION, si la situation de l'ouvrage** visée **au paragraphe 7.4 ne nécessite pas de chape en position basse** et si les matériaux de remplissage ou les autres travaux prévus ne nécessitent normalement pas un décaissement, il faut cependant être sûr que **l'état des maçonneries** de l'extrados de la où des voûtes et de la paroi interne des murs n'impose pas de procéder à leur réfection. Il est donc impératif que les investigations préalables aient aussi porté **sur l'état des maçonneries.** De telles investigations imposent **la réalisation de véritables fenêtres,** car de simples sondages carottés ne suffisent pas.*

*Si les investigations imposent de reprendre les maçonneries, **il faut alors choisir une chape d'étanchéité en position basse.** Cette solution permet aussi la remise en état du **système de drainage des eaux d'infiltration** et en assure une efficacité maximale.*

7.5.2.2 Ordre des travaux

> La réalisation d'une chape d'étanchéité en position basse impose, dans l'ordre qui suit, les principales opérations suivantes (ne sont pas évoqués les autres travaux éventuels qui doivent s'intégrer dans ce processus) :

- 1. la vérification de la stabilité de la ou des voûtes et des appuis ;
- 2. le déplacement des éventuels réseaux ;
- 3. le démontage des trottoirs ;
- 4. l'enlèvement de la couche de roulement et des diverses couches de la chaussée ;
- 5. le décaissement de l'ouvrage en respectant les précautions visées dans la partie 6 ci-dessus ;
- 6. le nettoyage de l'extrados des voûtes et des parois intérieures des murs ;
- 7. **le contrat contradictoire** de l'état de la maçonnerie ;
- 8. le remplacement des pierres manquantes et le rejointoiement des maçonneries si besoin est ;
- 9. la réalisation des réservations pour le passage des dispositifs d'évacuation des eaux ;
- 10. la réalisation du **support de la chape ;**
- 11. le contrôle de l'efficacité du support de chape par un essai d'arrosage (écoulement des eaux vers les dispositifs d'évacuation) ;
- 12. la pose de **l'étanchéité** et la réalisation des **dispositions connexes** pour éviter le passage de l'eau par ses bords (engravures, solins…). Cette pose implique celle des **dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux ;**
- 13. le remblaiement des voûtes en respectant les précautions visées dans la partie 6 ci-dessus ;

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

- 14. l'exécution des différentes couches de la chaussée ;
- 15. la réalisation des trottoirs (bordures, fourreaux des réseaux, remblaiement, revêtement…) et la remise en place des réseaux ;
- 16. la réalisation des autres dispositifs de drainage et de recueil des eaux de surface (caniveaux, avaloirs, descentes d'eau sur les remblais…) en respectant exigences de **la loi sur l'eau ;**
- 17. l'exécution des couches de roulement ;
- 18. les travaux de finition (remise en état des lieux)…

> ***Rappel :*** *dans le cas où le pont comporte des élégissements cachés derrière les murs de tête, ils doivent être rendus visitables par des trappes de visite d'autant qu'ils peuvent être utilisés pour accéder aux dispositifs de drainage.*

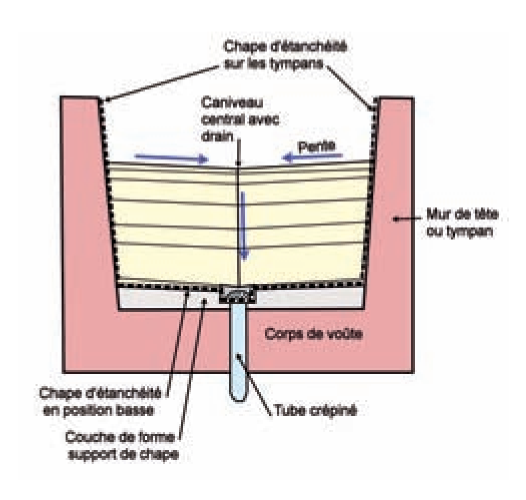


Figure n° 18 : chape en position basse et drainage centré

7.5.2.3 Choix du type de support de chape

Le guide de mai 1992 propose une couche variant de 10 cm (sur extrados) à 20 cm (au droit des appuis) d'un mortier ou micro-béton à base de mortier bâtard ou de chaux hydraulique pour limiter les risques de fissuration par retrait et les incompatibilités avec les pierres ou les briques. L'extrados de ce support doit être réglé pour que les eaux soient dirigées vers les dispositifs d'évacuation des eaux (se reporter au paragraphe 7.6 qui donne les formes de pente à réaliser et la conception des dispositifs d'évacuation des eaux). Dans le cas d'ouvrages importants dont on souhaite maximaliser la durée de vie…, il est préférable d'armer la couche de forme avec un treillis (armatures anti-fissuration) en acier galvanisé ou, mieux, inoxydable.

Dans le cas d'un renforcement par une contre-voûte réalisée à l'extrados d'une voûte existante, l'extrados de la contre-voûte sert de support de chape. Sa surface doit donc respecter les exigences imposées par la chape à mettre en place.

La réalisation d'un support de chape en mortier ou béton est détaillée dans la 8ème partie du présent guide.

Il n'est pas forcément nécessaire d'enlever totalement le remblai au droit des piles, sous réserve que sa qualité soit suffisante pour supporter la couche de forme.

La face interne des murs doit également être dressée avec le mortier afin d'obtenir une surface plane (se reporter au **guide STRRES FABEM 4** sur la protection des bétons, qui traite du choix et de la réalisation des enduits à base de liants hydrauliques et, en particulier, des **enduits de dressement** destinés à rattraper les défauts d'un support en maçonnerie). Le mortier peut être à base de chaux ou de type bâtard et être mis en place manuellement (avec un gobetis) ou par projection (se reporter aussi au **DTU 26.1**).

ATTENTION : *Il ne faut pas considérer qu'un enduit confectionné avec un* ***mortier d'imperméabilisation*** *ou une couche mince bitumineuse (bitume désacidifié) soit une* ***véritable chape d'étanchéité.*** *En effet, ces deux systèmes ne permettent pas de répondre aux critères auxquels doit satisfaire une chape d'étanchéité selon les textes en vigueur* ***(titre I ou III du fascicule 67 du CCTG ou normes),*** *notamment en termes de tenue à la fissuration du support. Il faut donc mettre en place une* ***véritable chape d'étanchéité.***

7.5.2.4 Choix du type de chape d'étanchéité

> Le guide de mai 1992 retient pour une chape d'étanchéité en position basse les deux types de chape suivants :

- chape en asphalte bicouche, la première couche étant relevée sur la face intérieure des murs (**attention,** la réalisation d'une couche d'asphalte sur une paroi verticale ou quasi-verticale est délicate) ;
- chape en feuille préfabriquée complétée par une couche de protection en asphalte gravillonné, la chape préfabriquée étant remontée sur les différents murs et ancrée en partie haute.

NOTA : *les matériaux de remplissage ayant couramment une granulométrie 0/50, leurs gros éléments peuvent poinçonner la géomembrane. Il est donc nécessaire de prévoir une couche de protection ou de choisir des matériaux du remplissage de granulométrie adaptée.*

7.5.2.5 Détails constructifs

Pour les ouvrages en maçonnerie courants, les figures ci-après donnent les **détails constructifs types** à respecter. Pour les ouvrages complexes et exceptionnels, des adaptations sont à prévoir.

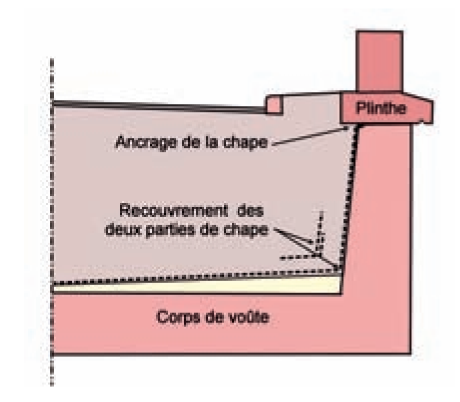


Figure n° 19 : détails des relevés de la chape d'étanchéité

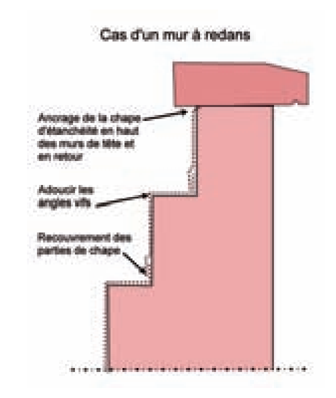


Figure n° 20 : détails des relevés de chape d'un mur à redans

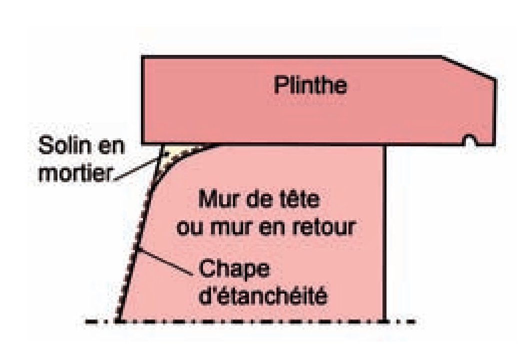


Figure n° 21 : ancrage de la chape sous la plinthe

ATTENTION : *dans le cas où la plinthe et le parapet doivent être conservés, à cause de la plinthe,* ***il est difficile d'ancrer la chape d'étanchéité*** *dans une engravure ou par un solin métallique* ***à la hauteur voulue.*** *En effet, il faut fixer la chape à* ***au moins 10 cm*** *au-dessus du revêtement de trottoir, c'est-à-dire* ***dans le parapet,*** *dans le but d'empêcher tout passage d'eau entre le mur et la chape. En effet, la partie arrière de la plinthe est en surplomb au-dessus de la face intérieure des murs et la chape d'étanchéité risque de se décoller au niveau de l'angle formé par le mur et le dessous de la plinthe.*

> Parmi les solutions envisageables pour résoudre ce problème, en voici trois avec les croquis explicatifs nécessaires, mais d'autres sont possibles :

- **Cas n° 1 :** utiliser une bande de solin métallique en sous-face de la plinthe pour fixer la chape d'étanchéité ;
- **Cas n°2 :** recouper la partie arrière de la plinthe, à condition de s'assurer de la stabilité de l'ensemble plinthe parapet. La mise en place de goujons en acier inoxydable peut être nécessaire pour assurer la stabilité de la plinthe. La chape peut alors être ancrée dans le parapet dans une saignée exécutée avec une disqueuse ;
- **Cas n°3 :** remplacer la plinthe et le parapet en maçonnerie par des éléments assurant le rôle de plinthe et de trottoir…

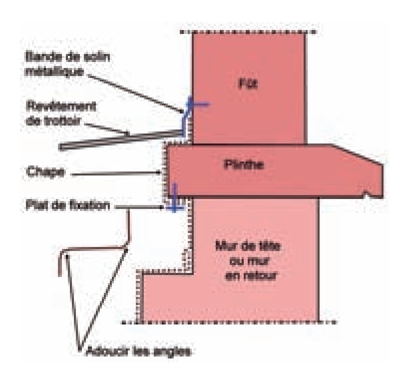


Figure n° 22 : ancrage de la chape cas n°1

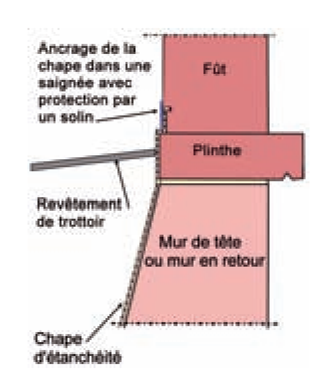


Figure n° 23 : ancrage de la chape cas n°2

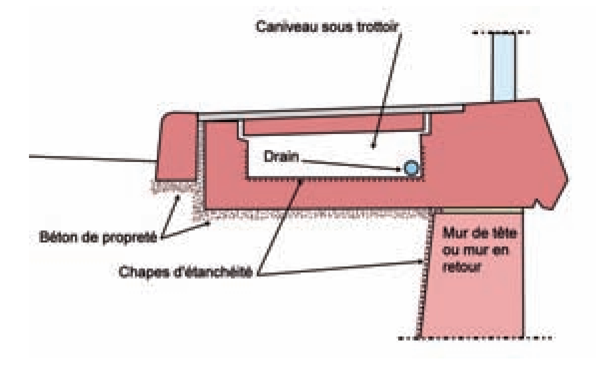


Figure n° 24 : ancrage de la chape cas n°3

7.5.3 CHAPE EN POSITION INTERMÉDIAIRE

7.5.3.1 Généralités

Dans le cas où les travaux ne portent que sur l'étanchéité et le drainage, le guide de mai 1992 indique que cette solution est bien adaptée au cas où seul le corps de la chaussée ne présente pas une résistance suffisante vis-à-vis de la classe de trafic poids lourds.

Cette solution est également bien adaptée dans le cas de la réalisation de certains des élargissements visés par le tableau 6 ci-devant (encorbellement avec contrepoids et réseau de poutres). Il faut se reporter au **guide de décembre 2001** qui donne des **détails constructifs** à respecter et qui sont rappelés par certaines des figures ci-après.

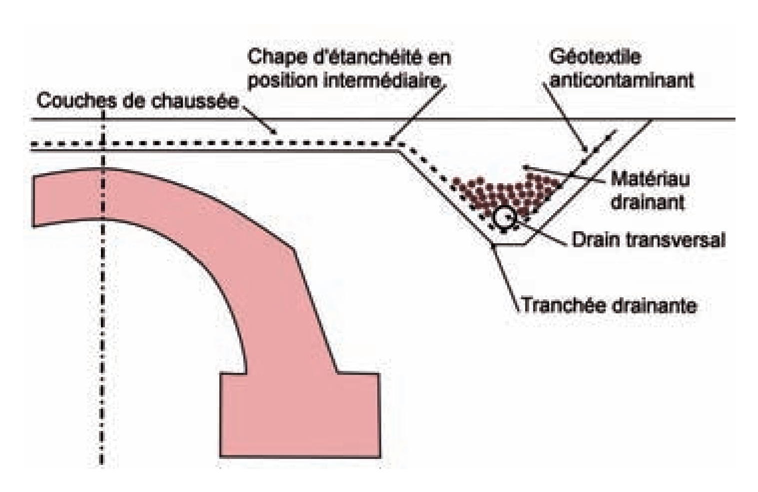


Figure n° 25 : schéma d'une chape en position intermédiaire

Si la hauteur disponible au-dessus de l'extrados de la voûte est insuffisante, la chape d'étanchéité doit être appliquée **en position basse** sur l'extrados de la voûte comme au chapitre 7.2 ci-dessus. Puis, dès que la couverture devient suffisante, la chape peut passer en position intermédiaire. Pour éviter tout risque de déchirure à l'interface, **il faut prévoir une sorte de joint transversal en forme de lyre.** La figure 27 du **guide de mai 1992** illustre la réalisation d'un joint souple dans le cas d'une chape sur une forme en béton armé.

Observations : *la solution visée dans le guide parait complexe, il semble bien préférable d'adopter, soit la solution haute, soit la solution basse ! Il est également possible de concevoir à la place du joint un chéneau transversal qui va jouer le rôle de lyre pour évacuer les eaux de ruissellement de l'extrados avant la partie de la chape en position intermédiaire.*

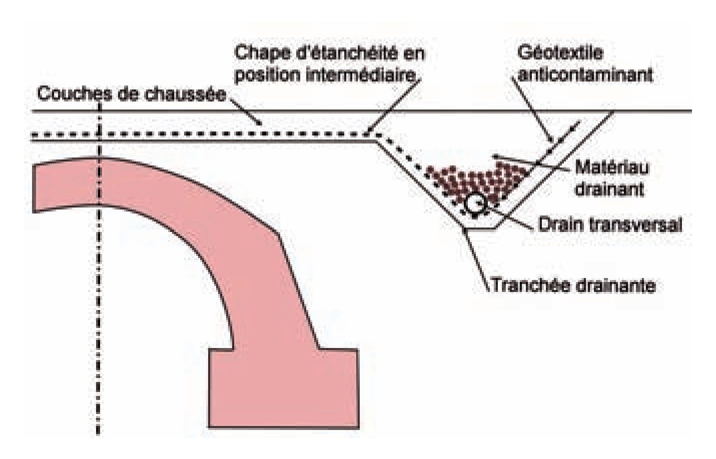


Figure n° 26 : schéma d'une chape en position basse puis intermédiaire

Bien entendu, il faut que la **qualité des matériaux de remplissage** soit conforme à celle requise, voire en soit très voisine (se reporter à la 6ème partie du présent guide sur les spécifications relatives aux matériaux de remplissage). Dans le cas contraire un décaissement s'impose, ce qui peut remettre en cause le choix d'une chape en position intermédiaire.

Le guide de mai 1992 indique, pour une **chape en position intermédiaire, le risque de passage de l'eau dans le remplissage entre la chape et l'extrados de la voûte.** Les indications données ci-devant au chapitre 7.4 permettent de mesurer ce risque. Les figures 25 et 26 donnent des dispositions qui doivent être adaptées aux résultats de l'étude sur les conditions de circulation des eaux, en particulier de celles qui risquent de passer sous la chape. S'il y a un risque de passage, la **profondeur de la tranchée drainante** doit être nettement augmentée.

7.5.3.2 Ordre des travaux

> **La réalisation d'une chape en position intermédiaire impose, dans l'ordre qui suit, les principales opérations suivantes (ne sont pas évoqués les autres travaux éventuels qui doivent s'intégrer dans ce processus) :**

- 1. la vérification de la stabilité de la ou des voûtes et des appuis ;
- 2. la vérification de l'état et du fonctionnement des dispositifs de drainage existant situés sous le niveau de la future chape ;
- 3. le déplacement des éventuels réseaux ;
- 4. le démontage des trottoirs ;
- 5. l'enlèvement de la couche de roulement et des diverses couches de la chaussée ;
- 6. le nettoyage des parois intérieures des murs ;

- 7. **le contrat contradictoire** de l'état de la maçonnerie mise à jour (murs de tête et tympans);
- 8. le remplacement des pierres manquantes et le rejointoiement des maçonneries, si le constat contradictoire en montre la nécessité ;
- 9. la réalisation du **support de la chape sur le remplissage et sur la face intérieure des murs;**
- 10. la pose de **l'étanchéité** et la réalisation des **dispositions connexes** pour éviter le passage de l'eau par ses bords (engravures, solin…) et aussi aux deux extrémités de l'ouvrage. Cette pose implique celle des dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux ;
- 11. l'exécution des différentes couches de la chaussée ;
- 12. la réalisation des trottoirs (bordures, fourreaux des réseaux, remblaiement, revêtement…) et la remise en place des réseaux ;
- 13. la réalisation des dispositifs de drainage et de recueil des eaux (caniveaux, avaloirs, descentes d'eau sur les remblais… ;
- 14. l'exécution des couches de roulement
- 15. les travaux de finition (remise en état des lieux)…

7.5.3.3 Choix du type de support de chape

Le support de la chape dépend du choix du type d'étanchéité. **Le guide de mai 1992 propose les solutions suivantes :**

> dans le cas d'une géomembrane en bitume élastomère armé, il faut interposer :

- un géotextile anti-poinçonnement non tissé de grammage adapté directement sur le remplissage compacté et réglé,
- ou une couche de sablon ou de sable de 5 cm d'épaisseur, soigneusement réglée et compactée,
- ou une couche de grave bitume qui présente plus d'avantages qu'une grave ciment (souplesse) ;

NOTA : *les matériaux de remplissage ayant couramment une granulométrie 0/50, ils sont à même de poinçonner la géomembrane. L'expérience montre que si le remblai est correctement compacté (sans utilisation d'engins vibrants pour ne pas endommager la maçonnerie), il n'est, normalement, pas nécessaire de prévoir une couche de protection ou de choisir des matériaux du remplissage de granulométrie adaptée.*

> dans le cas d'une étanchéité classique, il faut interposer :

- une couche de grave bitume,
- ou une couche d'enrobés ou de sable enrobé,
- ou une forme en béton armé (cas particulier illustré par le figure n° 27 du guide SETRA déjà visée).

__Se reporter__ à la 6ème partie du présent guide qui traite de la réalisation des couches d'assise et de surface des chaussées et donc de la mise en œuvre des graves bitume, enrobés...

REMARQUE : *une grave bitume est immédiatement circulable dès son refroidissement, ce qui n'est pas le cas d'une grave ciment, mais sa mise en place impose un* ***compactage****. Pour éviter de solliciter la structure en maçonnerie par des vibrations excessives, il faut utiliser des* ***engins non-vibrants*** *de puissance adaptée à l'épaisseur de la couche à répandre. Il est aussi possible d'utiliser des* ***matériaux autocompactants*** *visés par l****e titre 1 du fascicule 70 du CCTG*** *pour le remblaiement des tranchées et la norme NF P 98-115 relative à l'exécution des corps de chaussées.*

ATTENTION : *de tels matériaux exercent une* ***poussée importante*** *qui peut mettre à mal la stabilité des murs de tête et en retour.*

7.5.3.4 Choix du type de chape d'étanchéité

> Le guide de mai 1992 retient pour une chape d'étanchéité en position intermédiaire les deux types de chape suivants :

- géomembrane en bitume élastomère armé ;
- étanchéité classique à base d'asphalte coulé ou de feuille préfabriquée.

Le guide de mai 1992 déconseille les feuilles de PVC, de polyéthylène haute densité (PEHD) appelées aussi géomembranes et qui sont utilisées pour le stockage des déchets, des étanchéités de tunnels... Depuis cette date, la doctrine n'a pas variée.

Le guide de mai 1992 indique que les géomembranes en bitume armé sont sensibles à la chaleur qui fait fondre le bitume, ce qui peut rendre la chape inopérante. Dans le cas où les couches du corps de chaussée sont mises en œuvre à chaud (par exemple, 140 à 160°C pour une grave bitume), la géomembrane doit être protégée, par exemple par un non-tissé de 200 à 300 g/m^2.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

7.5.3.5 Détails constructifs

Pour les ouvrages en maçonnerie courants, les figures ci-après donnent **quelques détails constructifs types** à respecter. Pour les ouvrages complexes et exceptionnels, des adaptations sont à prévoir. Comme pour la chape en position basse, il est nécessaire de relever et d'ancrer les deux bords longitudinaux de la chape **au moins 10 cm au-dessus du trottoir,** sauf disposition particulière de ce dernier.

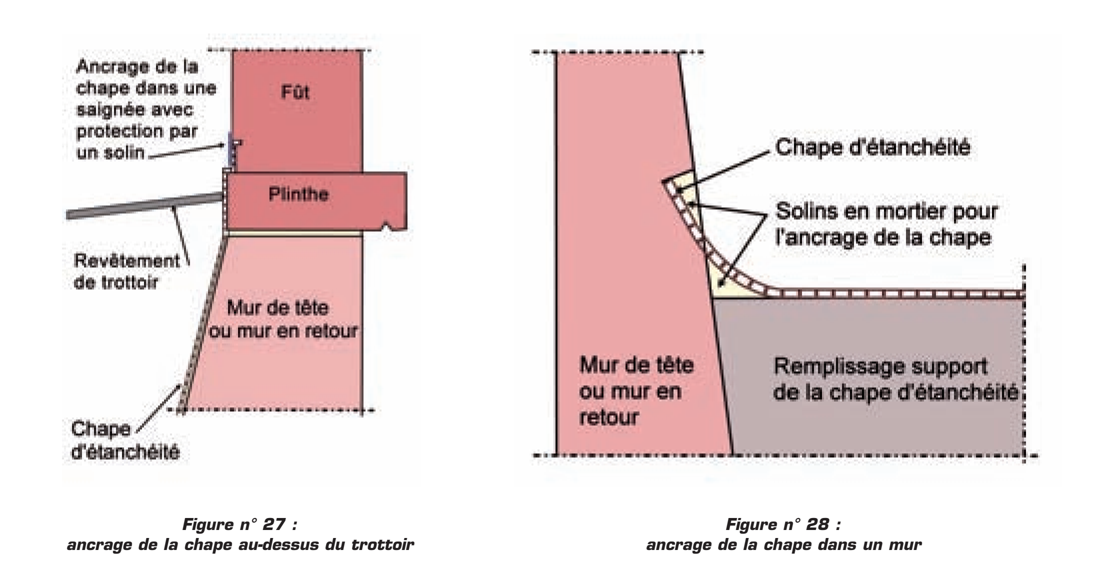


***Figure n° 27 :* ancrage de la chape au-dessus du trottoir**

***Figure n° 28 :* ancrage de la chape dans un mur**

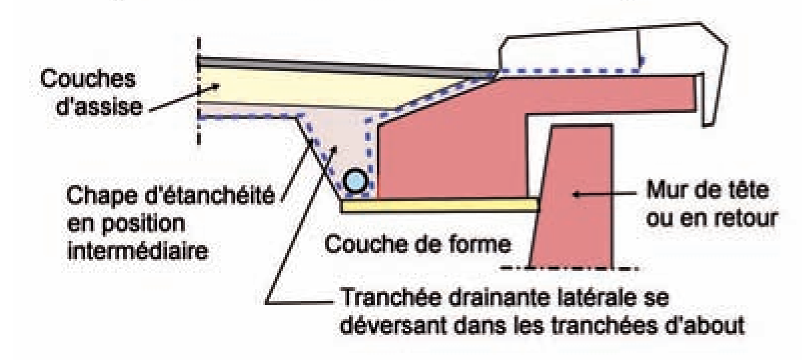


Figure n° 29 : schéma d'une chape en position intermédiaire dans le cas d'un élargissement

7.5.4 CHAPE EN POSITION HAUTE

7.5.4.1 Généralités

> Dans le cas où les travaux ne portent que sur l'étanchéité, le guide de mai 1992 indique que cette solution est bien adaptée aux cas des ponts-routes où :

- le corps de la chaussée et le remplissage ne présentent aucune insuffisance ;
- **il n'y a aucune réparation à effectuer sur l'extrados de la ou des voûtes et/ou la face interne des murs ;**
- la durée des travaux doit être réduite au maximum ;
- la circulation doit être maintenue faute de déviation adaptée (le travail par demi-chaussée doit être possible).

NOTA : *les travaux sous circulation par demi-chaussée entraînent souvent des défauts d'exécution préjudiciable à l'étanchéité.*

Cette solution est également bien adaptée dans le cas de la réalisation de certains des élargissements visés par le tableau n° 6 ci-devant (dalle générale et pontage).

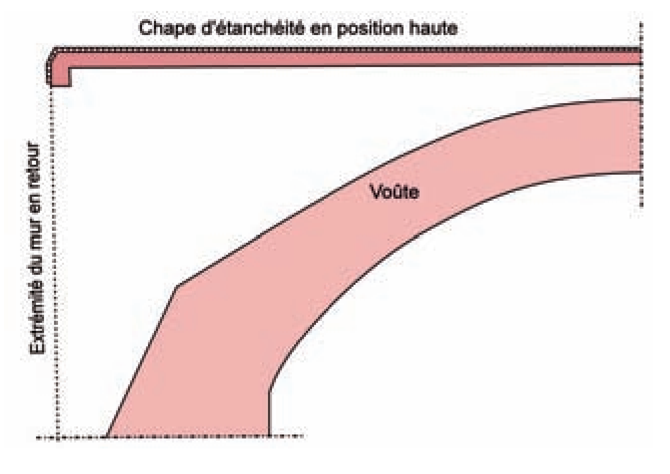


Figure n° 30 : schéma d'une chape en position haute sur dalle en béton armé

Le guide de mai 1992 indique, pour une chape en position haute, le **risque de passage de l'eau dans le remplissage entre la chape et l'extrados de la voûte.** Les indications données ci-devant chapitre 7.4 permettent de mesurer ce risque. S'il y a un risque de passage, **la profondeur de la tranchée drainante** doit être nettement augmentée.

La bèche d'extrémité du dallage support de la chape doit, dans le cas d'un pont de grande longueur et/ou avec des risques de tassement des remblais d'accès (présence de couches argileuses ou tourbeuses), circulation de nombreux poids lourds…, être dimensionnée, quand la dalle est monolithique, pour recevoir un joint de dilatation et une dalle de transition.

> Dans le cas particulier des ponts-rails, lorsque la mise en œuvre d'un complexe d'étanchéité adhérent position basse n'est pas vraiment possible, la meilleure solution est celle d'une étanchéité dite «haute» qui consiste à :

- dégarnir le ballast…en conservant le tout venant de remplissage ;
- réaliser une couche de forme servant de support de chape avec un enrobé à froid de type ASPAROC (il s'agit d'un produit à base de poudre d'asphalte, de sable siliceux et de gravillons de roches dures concassées se présentant sous forme de «billes». Il peut être livré sur wagon ou sur camion et être utilisé plusieurs mois après sa fabrication sans perdre la majeure partie des ses performances, sous réserve qu'il soit protégé par une bâche pour éviter les risques de modification de viscosité du liant par évaporation ou oxydation. Il est mis en œuvre par épandage sur une épaisseur de 80 mm environ, il donne après compactage un revêtement résistant et très ferme de 50 mm d'épaisseur et de densité 2,25 environ. Il permet également la réalisation de formes de pente) ;
- réaliser de nouveaux exutoires ;
- mettre en œuvre une membrane bitumineuse collée à chaud sans primaire ;
- mettre en œuvre une protection contre le poinçonnement du ballast qui peut être :
    - soit de l'ASPAROC (épandage d'une couche de 50 mm d'épaisseur pour obtenir après compactage un revêtement de 30mm d'épaisseur),
    - soit deux contre-chapes bitumineuses collées à chaud sur la membrane bitumineuse,
    - soit un géotextile.

> Lorsque les délais impartis ne permettent pas de réaliser ce type d'étanchéité, il est également possible de mettre en œuvre sur la couche de forme en ASPAROC ou même, si nécessaire, directement sur le tout venant, un complexe d'étanchéité non adhérent comprenant :

- un géotextile ;
- une géomembrane bitumineuse ;
- un géotextile.

Ces complexes d'étanchéité ont bien sûr subi avec succès le test de poinçonnement dynamique sous ballast et donnent de bons résultats. Toutefois, ils sont fragiles et il est nécessaire d'être vigilant lors des opérations d'entretien de la voie.

7.5.4.2 Ordre des travaux

> La réalisation d'une chape en position haute impose, dans l'ordre qui suit, les principales opérations suivantes (ne sont pas évoqués les autres travaux éventuels qui doivent s'intégrer dans ce processus) :

- 1. la vérification de l'état et du fonctionnement des dispositifs de drainage existant situés sous le niveau de la future chape ;
- 2. le déplacement des éventuels réseaux ;
- 3. le démontage des trottoirs ;
- 4. l'enlèvement de la couche de roulement (rabotage) ;
- 5. la réalisation du **support de la chape** (plusieurs solutions sont envisageables) ;
- 6. la pose de **l'étanchéité** et la réalisation des **dispositions connexes** pour éviter le passage de l'eau par ses bords (engravures, solin...) et aussi aux deux extrémités de l'ouvrage. Cette pose implique celle des dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux ;
- 7. la réalisation des trottoirs (bordures, fourreaux des réseaux, remblaiement, revêtement...) et la remise en place des réseaux ;
- 8. la réalisation des dispositifs de drainage et de recueil des eaux (caniveaux, avaloirs, descentes d'eau sur les remblais... ;
- 9. l'exécution des couches de roulement
- 10. les travaux de finition (remise en état des lieux)...

7.5.4.3 Choix du type de support de chape

> Le guide du SETRA de mai 1992 propose les solutions suivantes :

- la réalisation d'une dalle en béton, même en l'absence d'élargissement, sur laquelle sera posée la chape puis la couche de roulement ;
- la réalisation d'un reprofilage sur le support strié à cause de l'enlèvement des couches de chaussée par rabotage. Ce reprofilage peut être :
  - un béton bitumineux de 5 à 6 cm d'épaisseur,
  - ou un sable enrobé de 2 à 3 cm d'épaisseur,
  - ou une couche en grave bitume de 12 cm d'épaisseur.

Attention : *la mise en place d'une grave bitume impose un* ***compactage****. Pour éviter de solliciter la structure en maçonnerie par des vibrations excessives, il faut utiliser des engins non-vibrants de puissance adaptée à l'épaisseur à mettre en place.*

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

__Se reporter__ à la 6ème partie du présent guide qui traite de la réalisation des couches d'assise et de surface des chaussées et donc de la mise en œuvre des graves bitume, enrobés…

Le guide du SETRA évoque aussi la possible utilisation d'un béton de latex pour la réalisation d'une dalle en béton armé qui sert à la fois de couche de roulement et d'étanchéité. En effet, l'incorporation d'un tel élastomère améliore les caractéristiques mécaniques du béton et sa résistance aux effets du gel-dégel. Le recours à un tel béton est envisageable dans le cas d'un chantier expérimental à définir par le marché.

7.5.4.4 Choix du type de chape d'étanchéité

> Le guide du SETRA de mai 1992 retient pour une chape d'étanchéité en position haute les quatre types de chapes d'étanchéité classiques suivants :

- procédé bicouche d'asphalte ;
- feuille préfabriquée bitumineuse monocouche ;
- feuille préfabriquée bitumineuse recouverte d'une couche d'asphalte gravillonné ;
- procédés de mise en place par des moyens à haute cadence (MHC).

Les chapes de type MHC ne peuvent être envisagées que lorsque la surface du tablier est importante (> 1500 m²). De plus, il faut que les relevés latéraux puissent être exécutés et être efficaces, ce qui impose que la chape soit exécutée sur un support béton comportant des murettes latérales (se reporter aux détails constructifs).

Le recours à une chape d'étanchéité adhérente de type **SEL** (système d'étanchéité liquide) ou **FMAS** (films minces adhérant au support) à base de résines polymérisables n'est pas évoqué dans le **guide de mai 1992** à cause du coût de tels systèmes et aussi des incertitudes qui règnent sur la réalisation de la liaison avec la couche de roulement.

> L'utilisation de ce type de chapes minces peut donc être envisagée :

- dans le cas d'un élargissement (dalle générale ou pontage), sous réserve que la dalle de couverture ne comporte pas de multiples reprises de bétonnage avec des parties préfabriquées et des parties coulées en place, car ce mode de construction favorise la fissuration au droit des reprises de bétonnage ;
- dans le cas où l'étanchéité est appliquée sur une dalle béton, sous réserve d'assurer l'étanchéité des joints longitudinaux entre la dalle béton et les murs en maçonnerie (voir les détails constructifs).

Le cas d'une étanchéité sur une dalle en béton avec ou sans élargissement doit se faire en utilisant un des procédé du **titre I du fascicule 67 du CCTG** ayant fait l'objet d'un **avis technique** pour support béton.

7.5.4.5 Détails constructifs

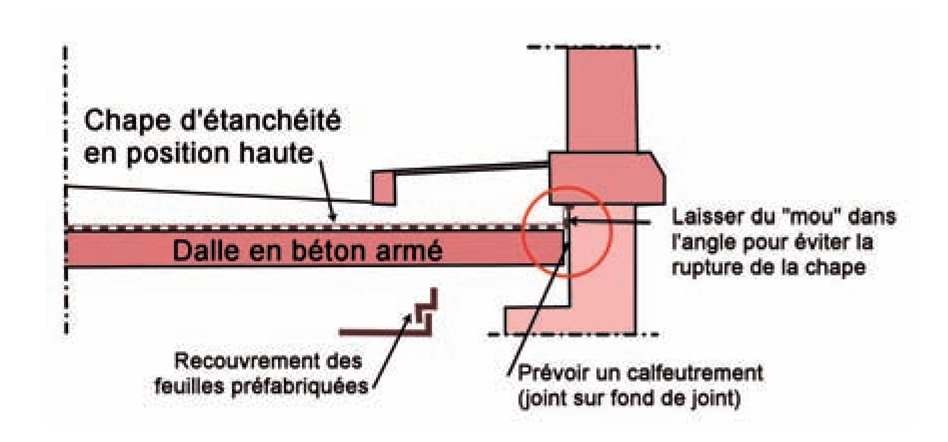


Figure n° 31 : relevé latéral d'une chape en position haute sur dalle béton cas n°1

Pour les ouvrages en maçonnerie courants, les figures ci-devant et ci-après donnent les **détails constructifs types** à respecter. **Pour les ouvrages complexes et exceptionnels,** des adaptations sont à prévoir.

Comme pour les chapes en position basse ou en position intermédiaire, il est nécessaire de relever et d'ancrer les deux bords longitudinaux de la chape **au moins 10 cm au-dessus du trottoir,** sauf disposition particulière de ce dernier.

De plus, il faut laisser du jeu entre la dalle support de la chape et les murs et laisser du mou à l'angle pour éviter la rupture de l'étanchéité, par exemple en réalisant une lyre. Une telle disposition est incompatible avec des murs susceptibles de subir un quelconque déversement.

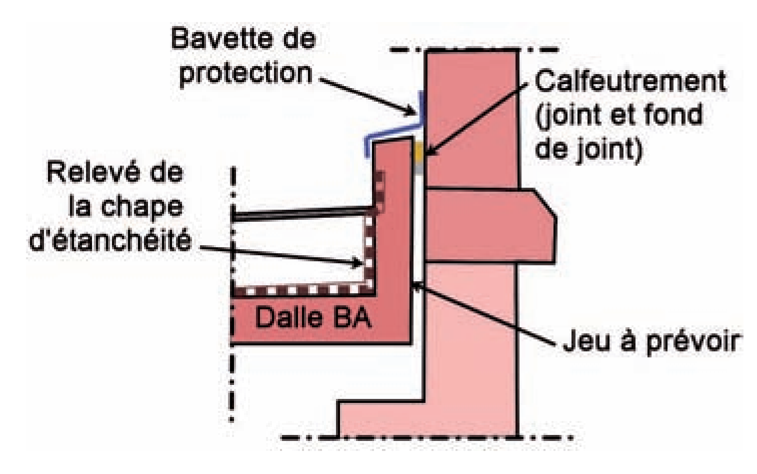


Figure n° 32 : relevé latéral d'une chape en position haute sur dalle béton cas n°2

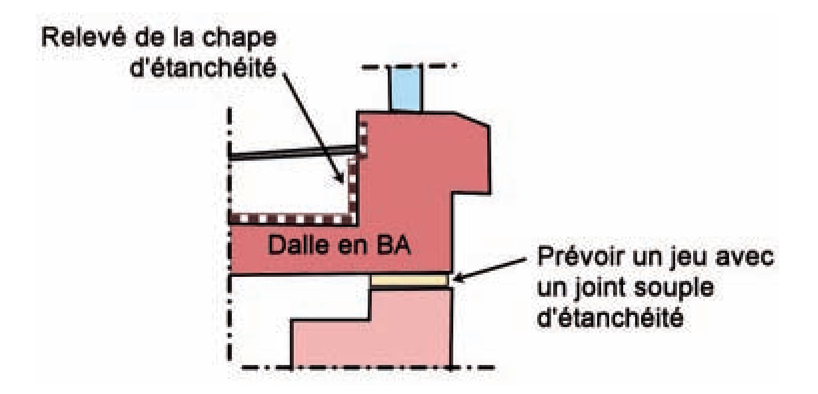


Figure n° 33 : relevé latéral d'une chape en position haute sur dalle béton cas n°3

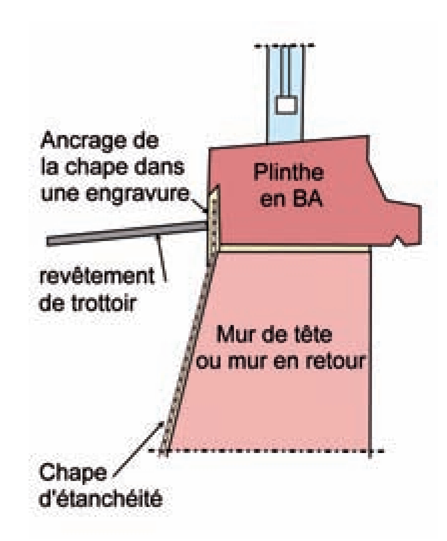


Figure n° 34 : ancrage de la chape au-dessus du trottoir

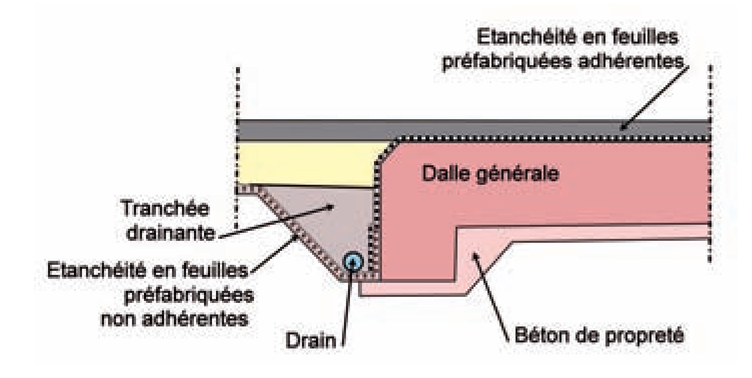


Figure n° 35 : disposition aux abouts d'un élargissement par dalle générale de faible longueur

Les dispositions de la figure 33 correspondent aux dispositions adoptées lors d'un élargissement par dalle générale (se reporter à la partie du guide FABEM 6.3 consacrée aux élargissements).

La figure 35 donne des dispositions qui doivent être adaptées aux résultats de l'étude sur les conditions de circulation des eaux, en particulier de celles qui risquent de passer sous la chape. S'il y a un risque de passage, la **profondeur de la tranchée drainante** doit être nettement augmentée.

7.5.5 CHOIX DES PRODUITS ET MATÉRIAUX

7.5.5.1 Généralités

Le présent article, sauf cas particulier, renvoie aux textes existants **CCTG, Normes, CCTP-types…** sans rentrer dans les détails des différents produits et matériaux. Le **guide STRRES «Etanchéité» [FAEQ 2]** est également à consulter.

Les matériaux à utiliser pour la confection du support de la chape d'étanchéité sont proposés par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure d'étanchéité** qui doit satisfaire aux prescriptions **du marché.**

NOTA : *le ou les type(s) de support de chape (mortier, dalle béton, grave bitume…) sont liés à la position de la chape. Il appartient au **marché** de fixer les exigences en s'appuyant sur les **fascicules du CCTG**, les **DTU**, les **guides techniques** et les **CCTP types** applicables.*

Les matériaux à utiliser pour la confection de la chape d'étanchéité sont proposés par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure d'étanchéité** qui doit satisfaire aux prescriptions spécifiques du **marché** et, dans certains cas (voir les articles ci-devant), aux prescriptions du **titre 1 du fascicule 67 du CCTG,** aux dispositions du **guide STER 81** et de ses mises à jour.

7.5.5.2 Supports de chape

7.5.5.2.1 Cas de la chape d'étanchéité en positon basse

Cette chape d'étanchéité est à poser sur un mortier ou un micro-béton à base de chaux hydraulique pour limiter les risques de fissuration par retrait et qui peut être armé.

Le guide du SETRA propose la formule de la SNCF, soit un sable 0/6,3 avec 5 à 7% de chaux hydraulique XCH 100 (lire XHA[8]).

[8] *Dans les années 60, la norme NF P 15-310 distinguait les chaux hydrauliques lourdes (XH) et les chaux éminemment hydrauliques (XEH).*

Attention, *le dosage proposé pour l'extrados de la voûte est sensiblement moitié des dosages d'un corps d'enduit.*

NOTA :

Le terme XHA *correspond à l'appellation des chaux hydrauliques artificielles qui sont visées par la* ***norme NF P 15-312.***

Le terme XHN *correspond à l'appellation des chaux hydrauliques naturelles qui sont visées par la* ***norme NF P 15-310.***

ATTENTION : *ces deux normes ont été remplacées par les normes* ***NF EN 459-1, NF EN 459-2 et NF EN 459-3*** *sur les chaux de construction avec les correspondances données par le tableau suivant.*

Type de chaux	Normes NF P	Normes NF EN 459-*		
	Sigle	Sigle	Classe de résistance	Ajout de clinker
Chaux hydrauliques naturelles	XHN	NHL	2 - 3,5 - 5	Sans objet
Chaux hydrauliques artificielles	XHA	NHL-Z	2 - 3,5 - 5	Ajouts

Tableau n° 7 : identification et classes de résistance des chaux

Le mortier de dressement utilisé pour la **face intérieure des murs** doit satisfaire aux dosages minimaux du **DTU 26.1,** auquel il convient de se référer.

> Pour le corps d'un enduit en trois couches et sur un support ancien, le DTU 26-1 fixe des dosages en chaux voisins de :

- chaux XHN (masse volumique 800 kg/m³)[9] 20% du poids de sable (masse volumique ~ 1600 kg/m³) ;
- chaux XHA (masse volumique 900 kg/m³) 15% du poids de sable.

7.5.5.2.2 Cas des chapes d'étanchéité en positions intermédiaire ou haute

Pour ce types de chapes d'étanchéité, il est possible de mettre en œuvre **plusieurs sortes de supports** (enrobé bitumineux, micro-enrobé, asphalte coulé, grave bitume, grave ciment et dalle béton). Se reporter aux différents **paragraphes du guide FABEM 6.1** consacrés à ces produits et matériaux et au **CCTP-type du SETRA** pour les exigences à spécifier dans le **marché**.

[9] La masse volumique d'une chaux aérienne est de l'ordre de 400 kg/m³ et celle d'un ciment entre 950 et 1200 kg/m³.

7.5.5.3 Chapes d'étanchéité

7.5.5.3.1 Chapes d'étanchéité classiques ou non

> Les chapes d'étanchéité des types listés ci-après relèvent du titre 1er du fascicule 67 du CCTG dont les références normatives de son annexe 5 sur les matériaux et sur les essais doivent être corrigées pour tenir compte de l'évolution de la normalisation.

- procédé bicouche d'asphalte ;
- feuille préfabriquée bitumineuse monocouche ;
- feuille préfabriquée bitumineuse recouverte d'une couche d'asphalte gravillonné ;
- procédés mise en place par des moyens à haute cadence (MHC).

> Références normatives matériaux :

- nouvelle : **NF EN 12970** : Asphalte coulé pour étanchéité – Définitions, spécifications et méthodes d'essai.

Pour les complexes d'étanchéité mis en place à haute cadence, il faut se référer à la **mise à jour n°1 du guide STER 81** du SETRA et à ses mises à jour. Ce guide traite aussi des autres types de chape. La rédaction des pièces du **marché** peut faire appel au **CCTP-type du SETRA.**

REMARQUE : *il est possible de trouver sur les sites des fabricants : les fiches techniques des produits, les fiches de sécurité, des guides de choix et de pose, des cahiers de clauses techniques…*

Rappel : *l'examen des propositions des entreprises est facilité par la lecture des* ***avis techniques du SETRA*** *sur les procédés d'étanchéité de tous les types.*

L'ASQPE[10], *qui doit, à terme, se substituer au SETRA, prévoit dans ses statuts l'élaboration de* ***règlements de certification*** *et la participation aux* ***règlements des ATE*** *dans le domaine des équipements et des étanchéités.*

Dès que l'ensemble des normes européennes sur les étanchéités sera opérationnel ainsi que le règlement d'ATE correspondant, les chapes d'étanchéité pourront bénéficier du ***marquage CE.*** *Ce marquage d'un système sera délivré par un des organismes européens habilités tel que l'ASQPE.*

[10] *ASQPE : Association pour la Qualité de la Précontrainte et des Équipements.*

7.5.5.3.2 Géomembranes et géotextiles

> Les géomembranes et géotextiles relèvent des normes suivantes :

- **NF P 84-500 :** Géomembranes - Terminologie ;
- **NF P 84-520 :** Géomembranes - Identification sur site ;
- **NF EN 13251 :** Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les travaux de terrassement, fondations et structures de soutènement ;
- **NF EN 13249 :** Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les systèmes de drainage (additif A1) ;
- **NF EN 13252 :** Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des routes et autres zones de circulation (à l'exclusion des voies ferrées et des couches de roulement) ;
- **NF EN 15381 :** Géotextiles et produits apparentés - Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les chaussées et couches de roulement en enrobés.

> Suivant les besoins, les géotextiles peuvent assurer les trois fonctions suivantes :

- la séparation entre des matériaux différents caractérisée par :
  - la perméabilité,
  - l'ouverture de filtration ;
- le drainage caractérisé par :
  - la perméabilité,
  - l'ouverture de filtration,
  - la capacité de débit ;
- le renforcement du sol caractérisé par :
  - la perméabilité,
  - l'ouverture de filtration,
  - la capacité de débit dans le plan ,
  - la résistance à la traction,
  - l'allongement à l'effort maximal,
  - la résistance au poinçonnement statique,
  - la résistance à la perforation dynamique.

***NOTA :** à ces normes s'ajoutent différentes normes d'essai.*

Dans le domaine des chapes d'étanchéité, la seule fonction du **géotextile** est d'assurer la protection de la chape qui peut aussi être assurée par une couche de sablon.

7.5.6 CHOIX DES MATÉRIELS

7.5.6.1 Cas du support de chape

Les matériels à utiliser pour la confection du support de la chape d'étanchéité sont proposés par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure relative aux travaux d'étanchement,** qui doit satisfaire aux prescriptions du **marché**.

NOTA : *les matériels de mise en œuvre varient en fonction du type de support de chape (mortier, dalle béton, grave bitume...). Il appartient au* ***marché*** *de fixer les exigences en s'appuyant sur les* **fascicules du CCTG**, *les* ***DTU****, les* ***guides techniques*** *et les* ***CCTP-types*** *applicables.*

7.5.6.2 Cas de la chape

Les matériels à utiliser pour le transport et la mise en œuvre sont proposés par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure relative aux travaux d'étanchement,** qui doit satisfaire aux prescriptions spécifiques du **marché** et, dans certains cas (voir les articles ci-devant), aux prescriptions du **titre 1 du fascicule 67 du CCTG**, aux dispositions du **guide STER 81** et de ses mises à jour avec, si besoin est, des adaptations.

NOTA : *dans le cas de l'utilisation de géomembranes, le* ***marché*** *fixe les exigences spécifiques à ce type de produit.*

7.5.7 MODES OPÉRATOIRES

7.5.7.1 Généralités

Les travaux de réalisation du support de chape et de la chape d'étanchéité sont quasiment les mêmes que ceux qui seraient à effectuer sur un ouvrage neuf. Il faut seulement prendre plus de précautions afin de ne pas provoquer des désordres structurels. Les exigences des **fascicules du CCTG, des DTU, des guides techniques...** relatifs aux travaux neufs sont donc applicables.

7.5.7.2 Cas du support de chape

Le mode opératoire pour la confection du support de la chape d'étanchéité est proposé par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure d'étanchéité,** qui doit satisfaire aux prescriptions du **marché**.

NOTA : *les modes opératoires varient en fonction du type de support de chape (mortier, dalle béton, grave bitume…). Il appartient au* ***marché*** *de fixer les exigences en s'appuyant sur les* ***fascicules du CCTG,*** *les* ***DTU****, les* ***guides techniques*** *et aussi les* ***CCTP-types*** *applicables.*

Quel que soit le support de chape, il importe, qu'après réalisation, les pentes et contre-pentes exigées soient, aux tolérances près, respectées et qu'aucune flache, empreinte de pas… ne soient présentes.

La conception et la réalisation d'un support de chape en mortier ou béton sont traitées dans la 8ème partie du présent guide.

Il est rappelé que les supports en mortier et béton doivent satisfaire à des exigences en matière de texture (rugosité) différentes suivant le type de chape.

Dans le cas de la réalisation d'un support de chape en mortier ou béton, pendant la phase des travaux, une protection contre les eaux de pluie ou le soleil peut être nécessaire. Ces travaux doivent être réalisés lorsque les conditions atmosphériques sont favorables (absence de gel et de pluie). **En cas de pluie,** il faut mettre en place une protection, ce qui est relativement facile, par exemple au moyen de poutrelles appuyées sur les murs et de bâches. Pour éviter les fissures par les différents retraits, il faut protéger le support de chape contre **l'ensoleillement direct.**

Ensuite, la cure doit être mise en œuvre (se reporter au **fascicule 65 du CCTG**). La chape ne doit être réalisée qu'après durcissement et séchage du support en mortier ou béton.

7.5.7.3 Cas de la chape

Le mode opératoire pour la confection de la chape d'étanchéité est proposé par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure** relative aux travaux d'étanchement, qui doit satisfaire aux prescriptions du **titre 1 du fascicule 67 du CCTG**, aux dispositions du **guide STER 81** et de ses mises à jour et aux prescriptions spécifiques du **marché**.

La procédure d'étanchéité comporte obligatoirement des **dessins de détail** (détails constructifs des relevés d'étanchéité, des abouts du tablier…). Ces dessins de détail doivent également comporter les **dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux.**

Un plan de calepinage est nécessaire dans le cas d'une pose de feuilles préfabriquées.

Il est rappelé que, pendant la phase des travaux, une protection contre les eaux de pluie et/ou le soleil peut être nécessaire. **En cas de pluie,** il faut mettre en place une protection, ce qui est relativement facile, par exemple au moyen de poutrelles appuyées sur les murs et de bâches. Il faut aussi protéger la chape contre l'ensoleillement pour éviter la formation de gonfles dans le cas des chapes en position haute ou intermédiaire.

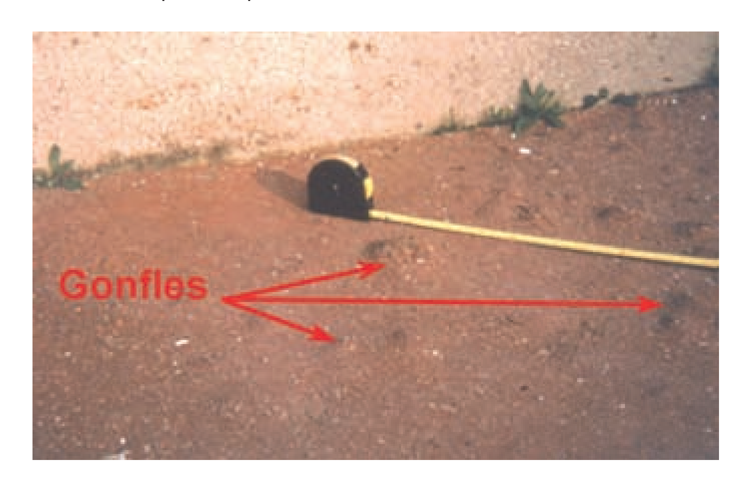


Photo n° 44 : gonfles sur un revêtement de trottoir en asphalte (crédit photo D. Poineau)

> ***Rappel important :*** *dans le cas où, avant les travaux d'étanchement, la maçonnerie était soumise à de fortes circulations d'eau, il faut attendre* ***son assèchement*** *avant de procéder à d'autres opérations telles que : rejointoiement de l'intrados, réalisation d'une contre-voûte… qui risqueraient de piéger l'eau contenue dans la maçonnerie.*

7.5.8 ESSAIS ET CONTRÔLES

7.5.8.1 Généralités

Les essais et contrôles à effectuer lors de la réalisation du support de chape et de la chape d'étanchéité peuvent s'inspirer de ceux qu'il faudrait effectuer lors de travaux identiques sur un ouvrage neuf. Les exigences des **fascicules du CCTG**, des **DTU**, des **guides techniques…** relatifs aux travaux neufs sont donc applicables avec certaines adaptations.

Le chapitre 7.6 ci-après, qui traite du drainage, fixe les essais en eau à faire pour s'assurer que les eaux ne stagnent pas et s'écoulent correctement par les avaloirs et gargouilles.

7.5.8.2 Cas du support de chape

Il appartient au **marché** de fixer les essais et contrôles à effectuer en fonction du type de support de chape à réaliser.

7.5.8.3 Cas de la chape

Il appartient au **marché** de fixer les essais et contrôles à effectuer en fonction du type de chape à réaliser et, si cela est possible, en s'inspirant des clauses correspondantes du **titre I du fascicule 67 du CCTG** et du **guide STER 81 et de ses mises à jour.** Ces diverses clauses sont reprises dans le **CCTP-type du SETRA.**

7.5.9 RÉCEPTIONS DES TRAVAUX (pour mémoire)

Se reporter au paragraphe 5.11 du guide FABEM 6.1.

7.6.1 GÉNÉRALITÉS

Il est nécessaire de protéger un pont en maçonnerie **contre les eaux** qui s'infiltrent au travers de la chaussée, qui proviennent des remblais d'accès ou des versants de la vallée, qui remontent du sous-sol… mais aussi des **eaux** qui ruissellent à la surface de l'ouvrage.

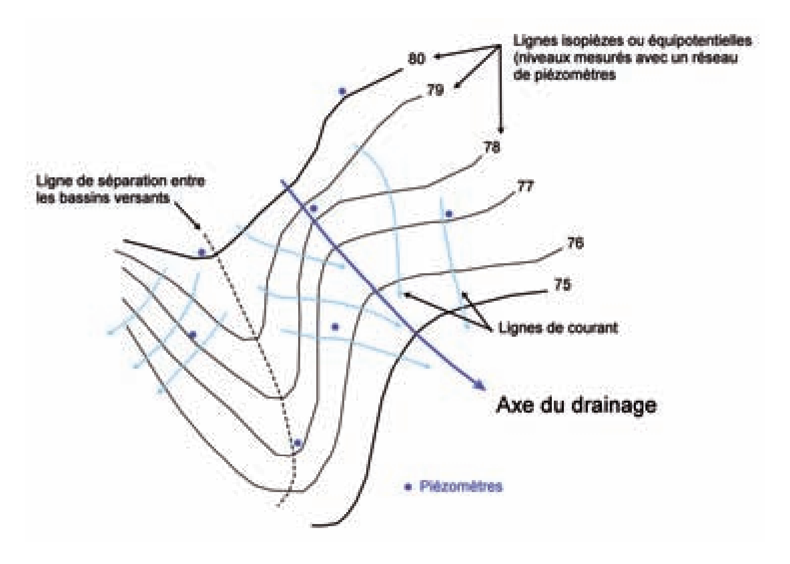


Figure n° 36 : résultats d'une étude piézométrique

> L'étude des circulations d'eau dans les terrains qui entourent un pont, si elles existent et sont importantes, relève des études préliminaires à effectuer pendant la mise au point du projet de réparation. Elle nécessite :

- une visite des lieux pour relever la présence de zones humides, de sources… ;
- la connaissance des différentes couches du sol (milieux poreux, rocher fissuré, argiles…) et la géométrie de la zone (courbes de niveau, talwegs, éperons,…) ;
- la présence d'une nappe libre ou captive au repos ou avec écoulement (utilisation de piézomètres) ;
- le coefficient de perméabilité des différentes couches (voir le tableau ci-après) par des essais ponctuels (essai Lefranc dans des formations meubles ou Lugeon[11] dans des formations compactes et fissurées) ou par des essais de pompage dans des puits…

[11] *L'essai Lugeon permet aussi de savoir s'il est possible d'injecter le milieu fissuré pour la création d'un écran de renforcement des fondations…*

> Ces études hydrogéologiques permettent de savoir si un drainage avec rabattement de nappe est nécessaire et quelles sont les solutions possibles :

- tranchées drainantes ;
- drains subhorizontaux ;
- puits drainants…

> ***Rappel important :*** *dans le cas où, avant les travaux d'étanchement, la maçonnerie était soumise à de fortes circulations d'eau, il faut attendre son assèchement avant de procéder à des opérations (de rejointoiement, de réalisation d'une contre-voûte) qui risqueraient de piéger l'eau contenue dans la maçonnerie.*

Coefficient de perméabilité	Nature des sols	Classement des sols
1, 10^{-1} et 10^{-2}	Graviers sans fines	Très perméables
10^{-3}, 10^{-4} et 10^{-5}	Sables et graviers sans fines	Perméables
10^{-6}, 10^{-7} et 10^{-8}	Sables très fins et sables argileux	Peu perméables
10^{-9} et 10^{-10}	Argiles homogènes	Imperméables

Tableau n° 8 : coefficients de perméabilité des sols et incidences sur leur classement

7.6.2 DISPOSITIFS DE DRAINAGE DES EAUX D'INFILTRATION

7.6.2.1 Généralités

Dans le cas d'une chape en position basse, les eaux de pluie, de ruissellement… peuvent s'infiltrer dans le remplissage au-dessus de la ou des voûte(s) ; elles doivent être évacuées hors de l'ouvrage.

Dans le cas d'une chape en position intermédiaire, les eaux qui peuvent s'infiltrer dans la partie supérieure du remplissage au-dessus de la chape doivent être évacuées hors de l'ouvrage et, de plus, il faut tenir compte des eaux qui peuvent pénétrer aux deux extrémités de l'ouvrage entre la chape et l'extrados de la ou des voûte(s).

Dans le cas d'une chape en position haute, les eaux qui peuvent s'infiltrer au travers des couches de roulement et des trottoirs doivent être évacuées hors de l'ouvrage et, de plus, il faut tenir compte des eaux qui peuvent pénétrer aux deux extrémités de l'ouvrage entre la chape et l'extrados de la ou des voûte(s).

Au sens du **décret de nomenclature lié au code de l'environnement,** il s'agit d'un **rejet dans les eaux de surface.** Dans le cas présent, les volumes qui s'infiltrent sont très faibles et les eaux sont filtrées par le remblai. Il ne parait pas utile de prévoir des dispositifs de recueil spécifiques. **Le cas des eaux de ruissellement** est traité dans l'article 7.6.3 ci-après.

S'il faut capter ces eaux d'infiltration, il est envisageable de réaliser des gargouilles au travers des murs de tête afin de récupérer ces eaux dans une canalisation longitudinale fixée sur les tympans et les murs en retour (voir la figure n° 37 ci-après).

Pour permettre un bon écoulement des eaux il faut, d'une part, interdire les piquages en angle droit entre les canalisations (ne pas dépasser un angle de 60°) et, d'autre part, équiper les jonctions de plaques hermétiques indispensables pour le curage.

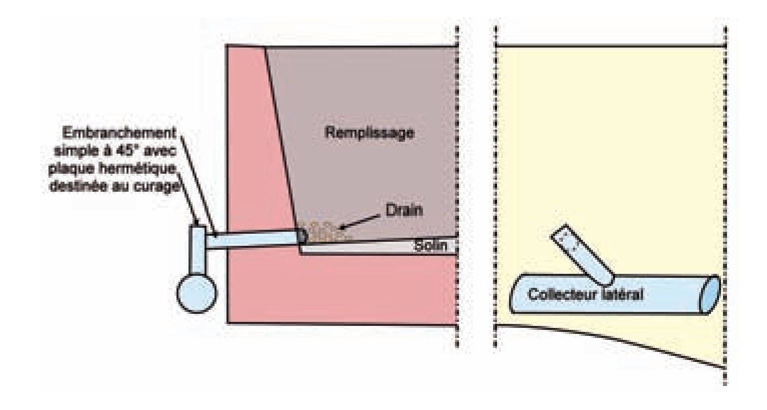


Figure n° 37 : récupération des eaux par des drains transversaux

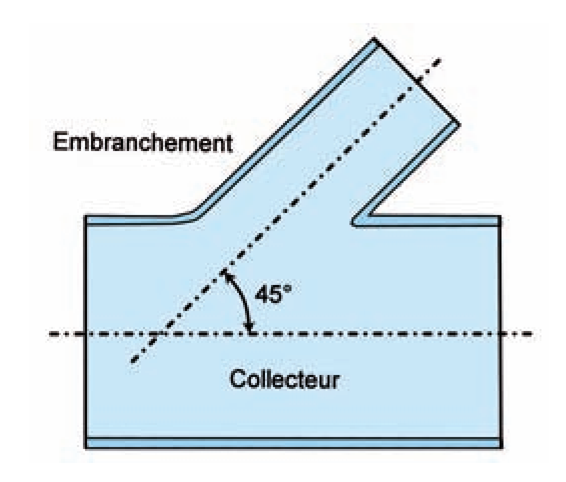


Figure n° 38 : schéma d'un raccord entre l'avaloir et le collecteur

7.6.2.2 Cas de la chape d'étanchéité en position basse

La réalisation d'une chape en position basse permet d'accéder à l'extrados de la ou des voûte(s) et donc aux dispositifs de drainage existants pour les remplacer ou les remettre en état, voire pour en créer.

> Pour la conception des dispositifs de récupération et d'évacuation des eaux d'infiltration dans le remplissage, il est possible de s'inspirer des dispositions illustrées par les figures ci-après qui montrent certaines des dispositions qui étaient réalisées dans les grands ponts en maçonnerie, à savoir :

- transversalement un support de chape en forme de V avec une pente comprise entre 3 et 5% avec, au centre, un caniveau rempli de pierres sèches pour former un drain longitudinal de 0,20 m x 0,20 m ;
- longitudinalement, un caniveau incliné à 5% au minimum entre la clé de voûte et la zone d'implantation des gargouilles, cette zone se situant, soit aux naissances (ou reins) de la voûte, soit au niveau de l'axe de la pile. Les formes de pente longitudinales étant conçues de façon à ce que la ou les gargouilles recueillent les eaux en provenance des deux demi-voûtes adjacentes ;
- des gargouilles, constituées d'un tube avec une crépine en tête pour éviter leur colmatage par les matériaux du remplissage entraînés par le ruissellement des eaux ou les dépôts de calcite, étaient placées, soit au droit des reins (naissances) de la voûte, soit verticalement dans l'axe de la pile ;
- pour permettre l'entretien des gargouilles, un accès aux crépines était parfois prévu :
    - regards de visite disposés sous la chaussée pour les gargouilles placées aux reins,
    - élégissement transversal au droit de la pile pour les gargouilles placées aux reins,
    - regard situé dans le corps de pile pour les gargouilles verticales situées dans l'axe des piles…

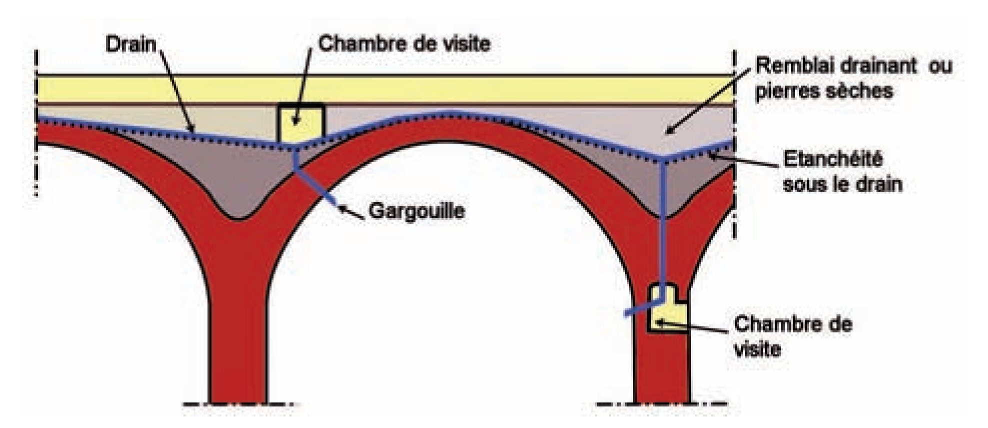


Figure n° 39 : drainage longitudinal

> **Lors des travaux de création ou de remise en état des dispositifs de drainage, il est possible d'améliorer les dispositions anciennes comme suit :**

- pour remplacer les pierres sèches soigneusement rangées pour constituer les drains, il est possible d'utiliser un granulat sans fines (par exemple, 20/40). Il est aussi possible d'utiliser des canalisations de drainage de 100 mm de diamètre au minimum, prêtes à l'emploi et visées par la norme **NF P 16-351.** Il s'agit de drains à cunette dont seule la partie supérieure est percée ;
- pour empêcher **les fines du remblai de venir colmater le drain et la partie crépinée de la gargouille,** il suffit d'enrober les pierres sèches ou le granulat sans fines dans un géotextile et, également, de couvrir la crépine par un géotextile ;
- les débits d'eau à évacuer étant relativement faibles, il faut cependant, pour éviter tout risque d'obstruction, prévoir des tubes d'évacuation d'au moins 80 à 100 mm de diamètre;
- les trous de passage des tubes d'évacuation des gargouilles à créer sont à réaliser avec un carottier à couronne diamantée plutôt qu'avec un roto-percuteur, ce qui évite d'endommager la maçonnerie ;
- pour la constitution des tubes d'évacuation, il faut choisir des matériaux durables comme la fonte, l'acier inoxydable, appartenant aux familles austénitique ou duplex (meilleure durabilité sous réserve de choisir la nuance adaptée à l'agressivité du milieu environnant) ou le polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- **les tubes d'évacuation doivent être munis d'une platine ou d'une collerette qui est prise en sandwich entre la première et la seconde couche de la chape d'étanchéité ;**



Photo n° 45 : tube d'évacuation muni d'une collerette *(crédit photo SETRA)*

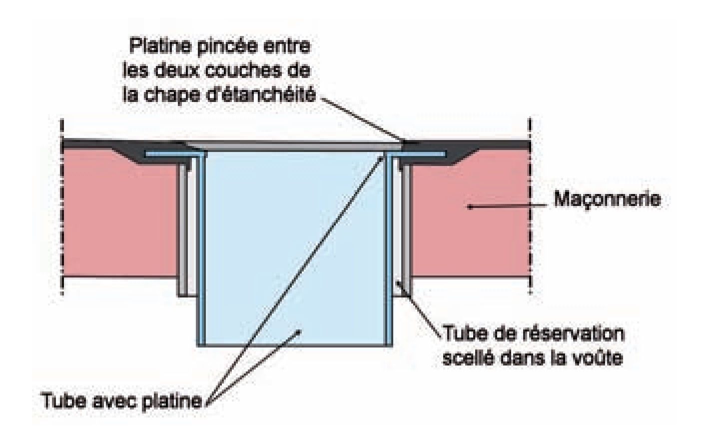


Figure n° 40 : schéma d'un tube d'évacuation avec platine ou collerette

- l'étanchéité des tampons des regards sous chaussée étant très difficile à obtenir et, de plus, comme toute intervention oblige à interrompre le trafic, **il faut supprimer de tels accès directs.** Si cela est possible, il faut créer des accès latéraux par les tympans au moyen de buses noyées dans le remblai. Si cela n'est pas possible, il faut créer des accès aux regards fermés par un tampon hermétique dans le trottoir ;
- dans le cas où les gargouilles descendent dans le corps des piles mais que des regards d'entretien n'ont pas été prévus, il est préférable de créer des gargouilles débouchant aux reins avec, si possible, des accès par regards. Il est aussi possible de faire déboucher les gargouilles latéralement au travers des tympans ;

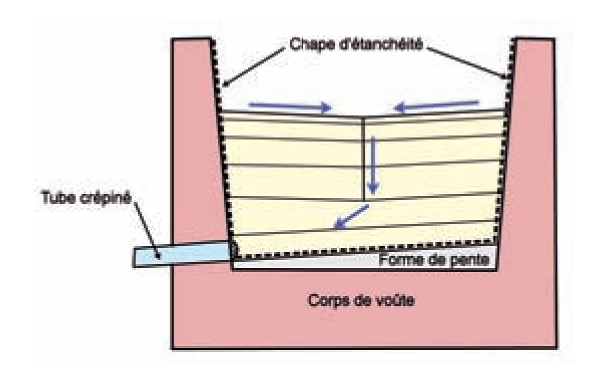


Figure n° 41 : schéma d'une évacuation latérale des drains transversaux

- les sorties des gargouilles doivent être, dans la mesure du possible, placées au-dessus des plus hautes eaux (PHE) pour éviter une remontée des eaux dans le remblai du remplissage;
- pour empêcher l'obstruction des gargouilles par divers animaux, il faut grillager les sorties des gargouilles (cela n'empêche pas de suspendre des nichoirs sous les voûtes si l'ouvrage est colonisé par des chauves-souris…) ;
- aux deux extrémités de l'ouvrage il peut être nécessaire de prévoir des **fossés drainants,** voire des **tranchées drainantes** pour limiter les arrivées d'eau en provenance du remblai.



Photo n° 46 : sortie latérale d'une gargouille *(crédit photo SETRA)*

CONSEIL : *l'expérience montre que certains plastiques se fragilisent avec l'âge et deviennent cassant. Aussi, si on souhaite utiliser des canalisations en plastique autre que le polyéthylène (PE), il faut s'assurer de leur durabilité potentielle.*

7.6.2.3 Cas de la chape d'étanchéité en position intermédiaire

Rappel : *pour protéger la maçonnerie des culées des eaux d'infiltration aux extrémités du pont, il peut être nécessaire de mettre en œuvre une* ***chape d'étanchéité en position basse*** *mais uniquement sur la culée et la demi-voûte adjacente, voire de prolonger la chape si cela permet de résoudre le problème.*

7.6.2.3.1 Évacuation des eaux d'infiltration sur le dessus de la chape

> Si le profil en long de l'ouvrage est quasiment plat (pente inférieure à 1%), pour évacuer les eaux qui s'infiltrent au travers des couches de la chaussée jusqu'à la chape d'étanchéité, deux cas se présentent :

- **cas des ponts de faible longueur :** il suffit de donner une pente suffisante (1% au minimum) au support de chape pour que les eaux puissent se déverser dans **les deux fossés drainants** situés de part et d'autre de l'ouvrage ;
- **cas des ponts de grande longueur :** il faut donner au support de chape des formes de pente destinées à diriger les eaux vers des gargouilles transversale percées au travers des tympans, sauf aux extrémités où les eaux peuvent être rejetées vers les **fossés drainants** comme dans le cas précédent.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Dans le cas d'un profil en long avec une pente supérieure à 1% (c'est le cas des ponts en dos d'âne qui ont des pentes souvent très fortes), les eaux peuvent se déverser dans les fossés drainants situés de part et d'autre de l'ouvrage.

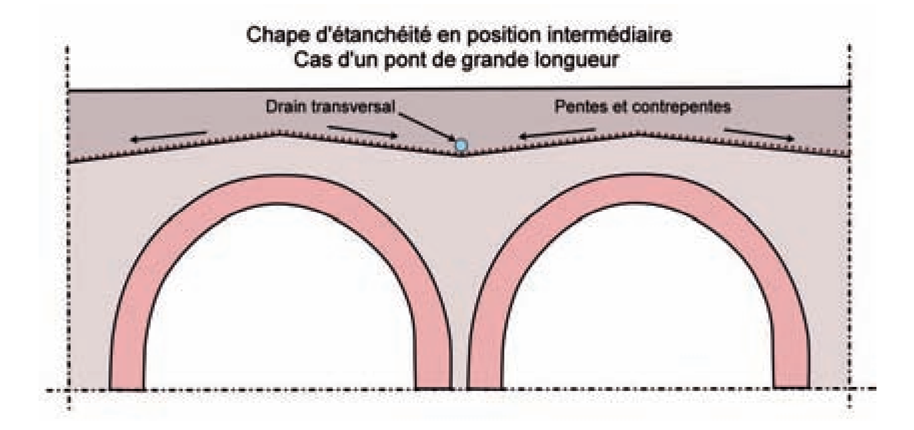


Figure n° 42 : chape en position intermédiaire dans un pont de grande longueur quasiment plat

7.6.2.3.2 Évacuation des eaux d'infiltration sous la chape

Dans le cas où l'étude préliminaire a montré que des eaux peuvent s'infiltrer entre la chape et l'extrados de la voûte et qu'il n'est pas possible de mettre en place une chape en position basse, il faut, soit remettre en état les gargouilles existantes, soit créer des gargouilles (normalement au-dessus des PHE).

Ces gargouilles nouvelles, à espacer d'environ 1,50 m, sont à placer en quinconce sur plusieurs rangs. Elles sont réalisées par scellement de tubes crépinés dans des forages au travers de la voûte à partir de l'intrados et prolongées d'au moins 0,20 m dans le remplissage. La crépine doit être protégée **par un géotextile** pour éviter son obstruction par les fines du remblai. La partie inférieure de la gargouille doit comporter **un grillage** contre la pénétration des animaux (se reporter au schéma ci-après).

Il faut avoir une connaissance précise de la forme de l'extrados et de l'épaisseur de la voûte pour pouvoir implanter correctement les forages comme le montre la figure ci-après.

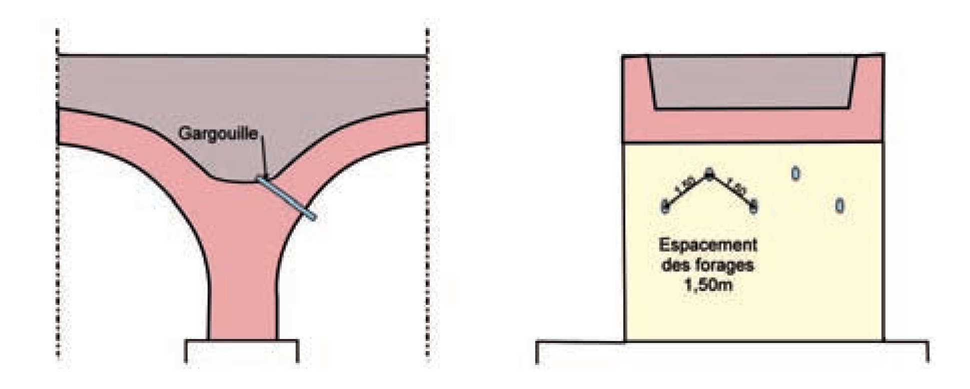


Figure n° 43 : zone d'implantation des forages pour la création de gargouilles

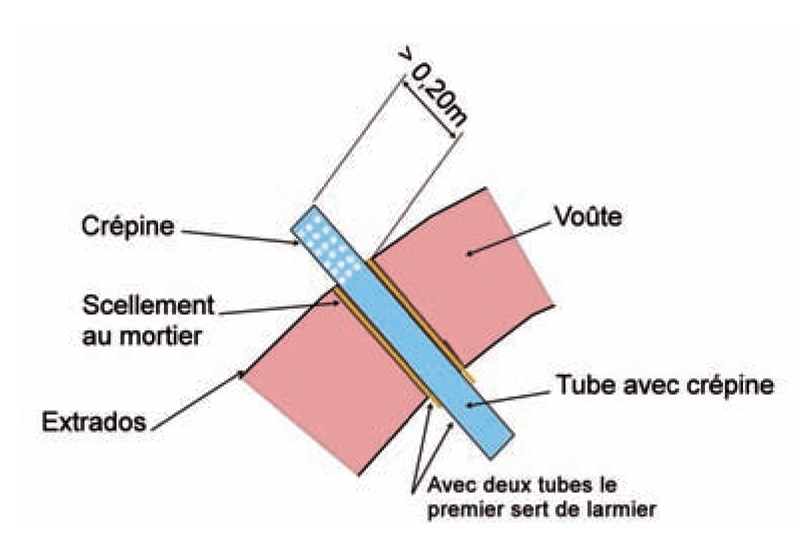


Figure n° 44 : schéma d'une gargouille correctement mise en place



Photo n° 47 : coulures dues à l'absence de débord du tube des gargouilles *(crédit photo Michotey)*

7.6.2.4 Cas de la chape d'étanchéité en position haute

> ***Rappel :*** *pour protéger la maçonnerie des culées des eaux d'infiltration aux extrémités du pont, il peut être nécessaire de mettre en œuvre une* ***chape d'étanchéité en position basse*** *mais uniquement sur la culée et la demi-voûte adjacente.*

7.6.2.4.1 Évacuation des eaux d'infiltration sur le dessus de la chape

Dans le cas où la chape est posée sur un support rigide (dalle béton), les eaux d'infiltration au travers de la couche de roulement et des trottoirs doivent être collectées par des **petits drains** placés le long des caniveaux et dans les trottoirs. Ces drains se déversent dans les dispositifs d'évacuation des eaux de pluie.

Il s'agit là de dispositions classiques applicables à tous les types de ponts. Pour permettre l'écoulement des eaux vers les drains, il faut donner au support de chape une pente transversale (celle de la chaussée) et une pente longitudinale au moins de 1%. La figure ci-après indique les dispositions à respecter, qui sont à adapter, si besoin est.

Dans le cas où la chape est posée sur un support souple, il faut adapter les principes ci-devant et évacuer les drains longitudinaux vers les fossés drainants visés ci-après ou des gargouilles latérales.

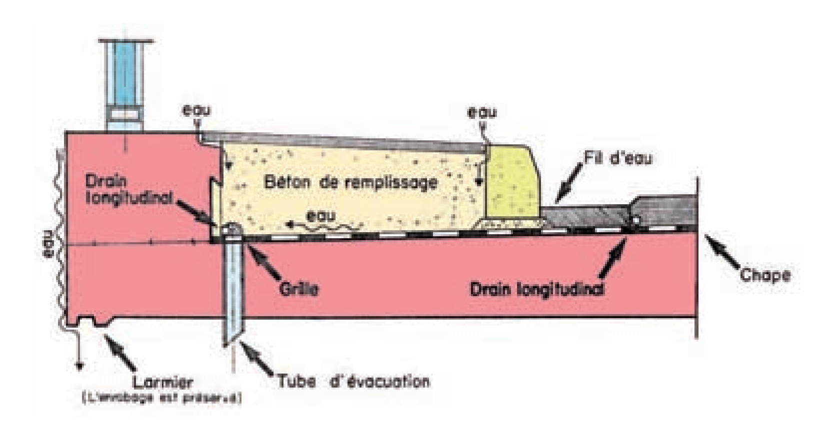


Figure n° 45 : principe de drainage longitudinal d'un trottoir et des couches de roulement
(cas d'un élargissement par dalle béton)

> Aux deux extrémités de l'ouvrage, là où s'arrête la chape d'étanchéité, deux cas se présentent :

- si la chape d'étanchéité est réalisée sur un support «souple» (enrobés rabotés, grave bitume…), il a lieu de prévoir des **fossés drainants transversaux** aux deux extrémités de la chape ;
- si la chape d'étanchéité est réalisée sur un support rigide (dalle en béton armé…), l'extrémité de la dalle, au droit de la retombée, forme un point dur, ce qui peut entraîner par tassement du remblai la création d'une marche d'escalier et donc des chocs, au passage des poids lourds, préjudiciables à la tenue de la dalle. Il est nécessaire de prévoir à chaque extrémité :
    - **un joint de dilatation et une dalle de transition,** à condition que la dalle soit monolithique et de grande longueur. Dans ce cas, les fossés drainants sont à décaler au-delà des dalles,
    - **ou les solutions utilisées par la SNCF** à l'arrière des culées pour supprimer la dalle de transition, avec remplacement du remblai par des graves traitées et non-traitées (se reporter à la **page 9 du guide du SETRA** relatif aux dalles de transition des ponts-routes).

7.6.2.4.2 Évacuation des eaux d'infiltration sous la chape

Dans le cas où l'étude préliminaire a montré que des eaux peuvent s'infiltrer entre la chape et l'extrados de la voûte et qu'il n'a pas été possible de mettre en place une chape en position basse, il faut, soit remettre en état les gargouilles existantes, soit créer des gargouilles (normalement, au-dessus des PHE). L'article 7.6.2.3.2 ci-devant relatif au cas de la chape en position intermédiaire décrit comment concevoir et réaliser de nouvelles gargouilles.

7.6.3 DISPOSITIFS DE DRAINAGE DES EAUX DE RUISSELLEMENT

Le détail des formules et des règles de calcul de l'assainissement d'un pont vis-à-vis des eaux de ruissellement figure dans **l'annexe 4 (FABEM 6.4).**

*Le **STRRES** tient à remercier **Jean-Louis Michotey** d'avoir autorisé l'insertion d'extraits de son guide visé ci-dessous dans la présente partie du guide et dans l'annexe 4.*

7.6.3.1 Documents de référence

- **Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations** (circulaire ministérielle du 22 juin 1977) ;
- **SETRA et LCPC (février 1982) :** Recommandations pour l'assainissement routier ;
- **SETRA (mai 1992) :** Ponts-routes en maçonnerie – Protection contre l'action des eaux – Étanchéité, assainissement, drainage… (Guide technique) ;
- **Fascicule 70 du CCTG :** ouvrages d'assainissement :
  - Titre I : Réseaux (eaux usées et pluviales),
  - Titre II : Ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviale ;
- **J-L. Michotey (4 juin 2009) :** Dimensionnement des ouvrages d'assainissement ;
- **le CERTU** (Centre d'études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques) propose deux logiciels :
  - le logiciel HYDROUTI 1.1 destiné aux projeteurs chargés de dimensionner un réseau d'assainissement,
  - le logiciel PAPYRUS destinés aux projeteurs chargés de faire le diagnostic d'un réseau d'assainissement existant.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

7.6.3.2 Détermination de la pluviométrie servant au dimensionnement d'un réseau d'assainissement

Se reporter à **l'annexe 4** [FABEM 6.4] qui détaille la méthodologie à suivre pour déterminer l'intensité, la durée et la fréquence ou la période de retour (5, 10, 15, 25 ans…) de l'averse de référence…

> ***La définition des données climatiques** et, en particulier, de celles relatives à la pluviosité incombent au **maître d'ouvrage.***

> Pour une période de retour de 10 ans, l'intensité de l'averse décennale de référence peut être fixée :

- **soit à partir de celles données dans le guide du SETRA susvisé : «Assainissement des ponts-routiers» :**
  - Zone 1 nord : I_{10} = 100 mm/h soit 100 l/m²/h ;
  - Zone 2 centre : I_{10} = 150 mm/h soit 150 l/m²/h ;
  - Zone 3 sud : I_{10} = 200 mm/h soit 200 l/m²/h.
- **soit, pour un pont situé dans un endroit quelconque, à partir des données locales des services météorologiques.**

En France, ces données peuvent être établies avec l'aide des relevés faits par **la Météorologie Nationale** qui permettent d'établir la fréquence d'apparition des éléments pluvieux en fonction de leur intensité maximale et pendant un intervalle de temps donné. Ces relevés sont ensuite transformés par des modèles mathématiques (formules de Montana ou de Talbot) en courbes **«Intensité, Durée et Fréquence» dites «ID » :**

- **Intensité :** quantité d'eau tombée /m² et par unité de temps ;
- **Durée :** longueur de la fenêtre temporelle fixée par l'utilisateur ;
- **Fréquence :** fréquence de dépassement ou **période de retour** qui est l'intervalle de temps moyen qu'il faut attendre avant de connaître une pluie d'intensité égale ou supérieure.

Les courbes IDF représentent l'intensité extrême pluvieuse en fonction de la durée **«D»** et de la période de retour **«T»** (axes doublement logarithmiques). **Le marché** fixe la courbe à utiliser et la période de retour correspondante.

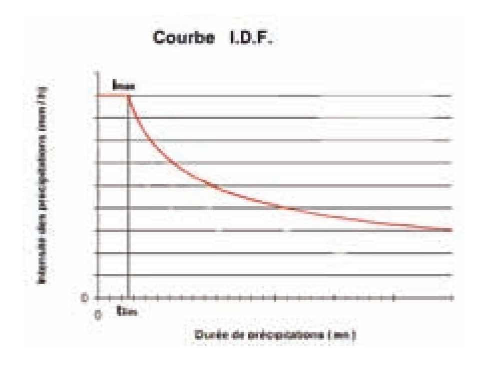


Figure n° 46 : exemple de courbe IDF

NOTA : *ici, le modèle mathématique utilisé (formule de Montana) n'étant valable qu'au-delà de 6 minutes, l'intensité maximale de l'averse a été plafonnée pour* $t \leq t_{lim} = 5$ ***mn****, d'où la courbe* **IDF** *tronquée de la figure ci-dessus.*

Pour savoir s'il faut retenir la **valeur maximum maximorum de l'intensité de l'averse («i_{max}»)** qui correspond à la partie plafonnée de la courbe lorsque $t \leq t_{lim}$ ou une **valeur inférieure,** il faut calculer un paramètre appelé le **«temps de concentration».**

Le temps de concentration «t_c» est celui que met l'eau pour s'écouler jusqu'à **l'exutoire** par le **plus long chemin hydraulique,** c'est-à-dire, dans le cas d'une route ou d'un pont, en parcourant le profil en travers de la chaussée, puis toute ou partie du profil en long et, si nécessaire, en passant par un avaloir pour arriver dans un collecteur... jusqu'au point d'évacuation considéré : **l'exutoire.**

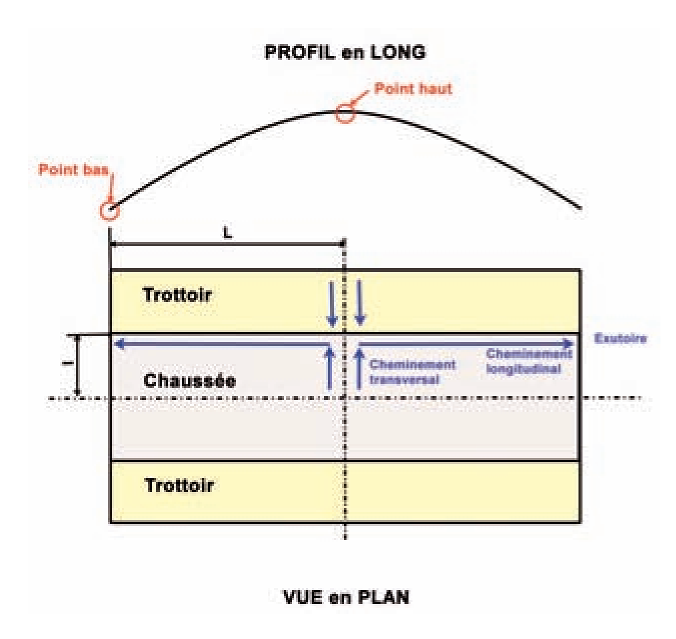


Figure n° 47 : schéma de principe du cheminement des eaux

Dans le cas d'un **pont de surface faible, moyenne, voire importante,** le temps de concentration est inférieur à **«t_{lim}»**, donc l'intensité de l'averse reste constante et maximale **«i_{max}»** (c'est le cas courant pour lequel les calculs sont beaucoup plus simples).

Dans le cas d'un pont de **surface très importante,** l'intensité de l'averse **«i_{tc}»** doit être déterminée sur la courbe IDF à partir de la valeur de **«t_c»** qui doit être calculée. Il s'agit ici de ponts dont la longueur totale dépasse 400 à 500 m.

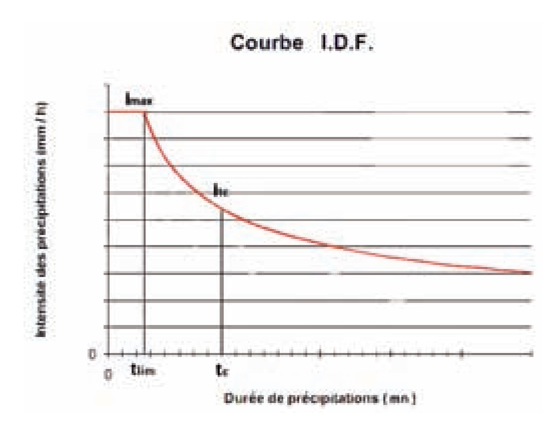


Figure n° 48 : cas où le temps de concentration «t_c» est supérieur à «t_{lim}»

NOTA : *si, pour les ponts, le dimensionnement de l'assainissement est, le plus souvent, basé sur une intensité de pluie constante et maximale, au contraire, la* ***courbe IDF*** *retenue joue à plein lorsqu'il s'agit de dimensionner un réseau d'assainissement en agglomération ou en rase campagne, le débit d'un cours d'eau en fonction des caractéristiques de son bassin versant…*

7.6.3.3 Généralités sur la conception de l'assainissement d'un pont

Suivant la **localisation de l'ouvrage,** il est possible d'évacuer les eaux directement dans un réseau d'assainissement existant (c'est le cas d'un pont urbain) ou il faut entièrement créer un réseau d'assainissement plus ou moins complexe suivant les contraintes **liées aux textes en vigueur** et imposées par le **maître d'ouvrage.**

> La position du pont et la géométrie du tracé routier influent sur la quantité d'eau à évacuer et également sur la conception de l'évacuation des eaux qui peut appartenir à un des trois modèles suivants :

- 1. **si le profil en long du pont est en dos d'âne,** la surface à drainer correspond à celle l'ouvrage sauf dans le cas où, à cause de risques spécifiques de pollution, il faut aussi récupérer les eaux qui ruissellent sur la chaussé de part et d'autre de l'ouvrage ;
- 2. **si le pont se trouve au point bas du profil en long,** il faut, d'une part, récupérer les eaux qui ruissellement sur la chaussée de chaque côté de l'ouvrage et, d'autre part, recueillir les eaux de pluie qui tombent sur l'ouvrage ;
- 3. **si le profil en long du pont est en pente** (constante ou pas), il faut, d'une part, récupérer les eaux qui ruissellent sur la partie de chaussée en pente vers l'ouvrage et, d'autre part, recueillir les eaux de pluie qui tombent sur l'ouvrage.

***Dans ces trois modèles, les risques de pollution** liés à la présence d'un **point sensible,** comme une zone de captage des eaux peuvent contraindre au recueil et au traitement des eaux de ruissellement sur le pont et des chaussées adjacentes mais, aussi, de **produits liquides en provenance d'un camion accidenté**[1] à proximité ou sur le pont.*

*De telles contraintes compliquent la conception du projet de drainage de l'ouvrage et imposent des contraintes d'entretien spécifiques (se reporter aux incidences de **la loi sur l'eau** traitées dans l'article 7.2.6 ci-dessus).*

> L'étude du drainage peut imposer la réalisation de divers dispositifs :

- bassin d'orage ;
- dégrilleur ou dessableur ;
- régulateur de débit ;
- *séparateur d'hydrocarbures…*

*Pour les installations de séparation des liquides légers comme les hydrocarbures, il faut se reporter aux normes : **NF EN 858-1, NF EN 858-2 et NF P 16-442.***

La conception d'un tel projet ne fait pas l'objet d'un développement particulier dans le présent guide.

(1) les citernes étant compartimentées en cellules de volumes divers (par exemple : 5, 4, 3, 2 m³…), en cas d'accident, il faut tenir compte que le déversement accidentel de toutes les cellules à la fois est peu probable. Il faut cependant fixer si ce déversement accidentel peut avoir lieu ou non pendant une période de pluie, ce qui peut imposer de traiter l'ensemble des effluents.



***Photo n° 48 : traces de calcite à l'intrados de l'arc brisé du viaduc de Fontpédrouse** (crédit photo D. Poineau)*

Dans les grands ponts en maçonnerie comportant des élégissements transversaux et longitudinaux (pont des Catalans à Toulouse, viaduc de Fontpédrouse, pont de la Balme…), l'extrados de l'arc est directement soumis à la pluie, donc aux infiltrations d'eau. Les pierres de tels arcs étant normalement de haute qualité, l'eau s'infiltre principalement par les joints, ce qui se traduit par des coulures et des traces de calcite à l'intrados. Si tel est le cas, il faut procéder à l'étanchement de l'extrados de l'arc en s'inspirant des dispositions développées dans l'article 7.6.3.5 ci-après.

La quantité d'eau à recueillir et à évacuer du pont va dépendre de la **surface de l'ouvrage,** mais il faut aussi intégrer le fait que, lors d'une averse, **les caniveaux latéraux le long des bordures** se remplissent d'eau et que la **largeur de la nappe d'eau** qui en résulte ne doit pas dépasser une **largeur limite «b_{lim}»** pour ne pas mettre en jeu l**a sécurité du trafic** (rétrécissement des voies, aquaplaning, projections d'eau…). À cette largeur limite est associé un **débit limite «Q_{lim}»** du caniveau, fonction des caractéristiques géométriques du caniveau, de sa pente et de sa rugosité…

> **Le document du SETRA susvisé recommande les largeurs de nappes d'eau maximales suivantes :**

- *1,50 m pour les ponts à chaussées encadrées par des bandes d'arrêt d'urgence ;*
- *1,00 m pour les ponts sans BAU.*

> Suivant l'importance de ce volume d'eau, les deux cas suivants se présentent :

1. **Cas des ponts de faible surface** (une, deux ou trois travées, voire plus si le pont est en dos d'âne prononcé), où le débit dans les caniveaux latéraux ne dépasse pas leur débit limite **«Q_{lim}»**. Dans ce cas, l'eau peut être évacuée, soit à une extrémité, soit aux deux extrémités vers :
    - des descentes d'eau sur remblai en béton armé coulées en place ou préfabriquées en béton armé ou en béton fibré…,
    - des fossés en crête de remblai ou en pied de talus avec cunette de fond en béton armé coulée en place ou préfabriquée, puis vers un dispositif de traitement des effluents,
    - des regards par l'intermédiaire d'avaloirs, de grilles-avaloirs… puis par des canalisations enterrées vers un dispositif de traitement des effluents ou un réseau d'assainissement (unitaire [EP + EU] ou séparatif [EP])…

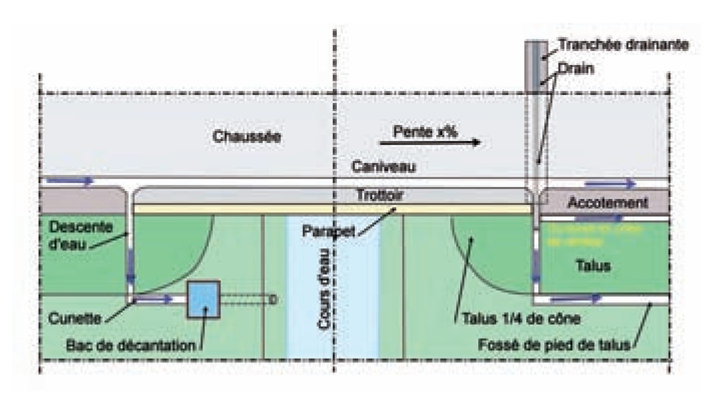


Figure n° 49 : conception des descentes des eaux de ruissellement aux extrémités d'un pont de faible longueur

2. **Cas des ponts de plus grande surface :** si le débit dans les caniveaux latéraux en bordure des trottoirs dépasse le débit limite **«Q_{lim}»**. Dans un tel cas, il faut prévoir des dispositifs d'évacuation intermédiaires (avaloirs, gargouilles) en complément des dispositifs d'évacuation placés aux extrémités.

> Pour ces ponts de grande surface, plusieurs cas se présentent suivant que le pont fait l'objet d'un élargissement ou que la chape d'étanchéité occupe une des trois positions possibles :

Cas des ponts avec élargissement :

- si la largeur de l'encorbellement au-delà du nu du mur de tête est suffisante, il suffit de placer des avaloirs raccordés ou non sur une canalisation longitudinale fixée sur la partie extérieure du mur de tête ou sous l'encorbellement,
- si la largeur est insuffisante, l'intégration du fil d'eau dans le corps du trottoir peut être une solution (voir la figure ci-après)...

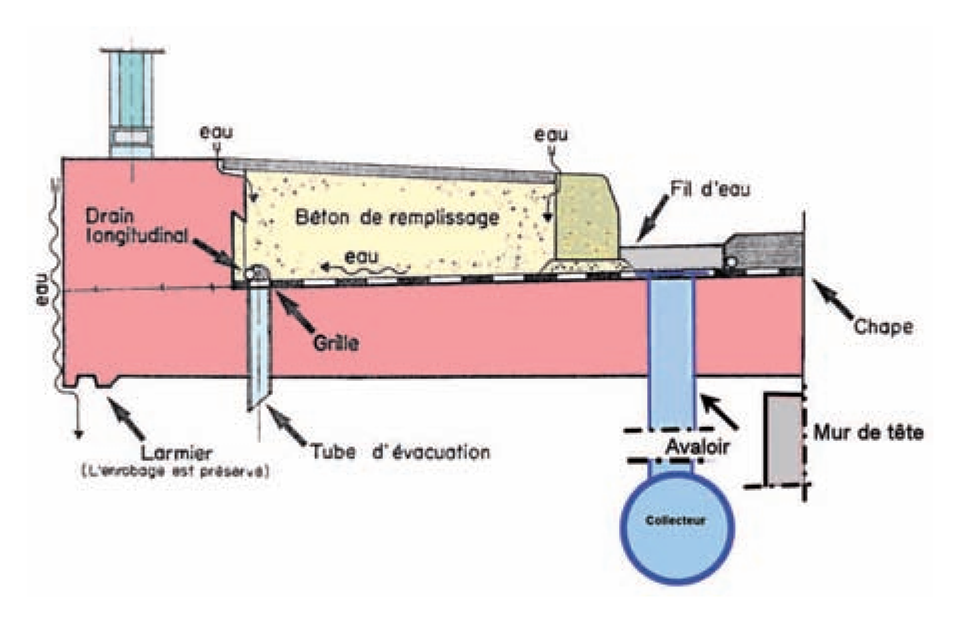


Figure n° 50 : schéma d'un avaloir dans le cas d'un élargissement par dalle générale

Cas des ponts avec étanchéité en position basse :

- si la hauteur disponible au dessus de l'extrados des voûtes est suffisante, il est possible de mettre en place en bordure de trottoir un petit réseau d'assainissement constitué de regards surmontés de grilles-avaloirs, reliés par des canalisations (voir les figures ci-après) ;

- si la hauteur est trop faible, il est possible de s'orienter vers la mise en place de gargouilles se déversant transversalement au travers des murs de tête ou verticalement au travers du corps de voûte,

- l'intégration du fil d'eau dans le corps du trottoir peut être aussi une solution, car elle permet d'augmenter la capacité du caniveau (voir la figure ci-après)...

REMARQUE : *en cas de fuite, comme les dispositifs d'évacuation des eaux se trouvent au-dessus de la chape d'étanchéité, les eaux de fuite doivent pouvoir être évacuées par les gargouilles et les travaux de remise en état des évacuations n'auront aucune incidence néfaste sur l'étanchéité.*

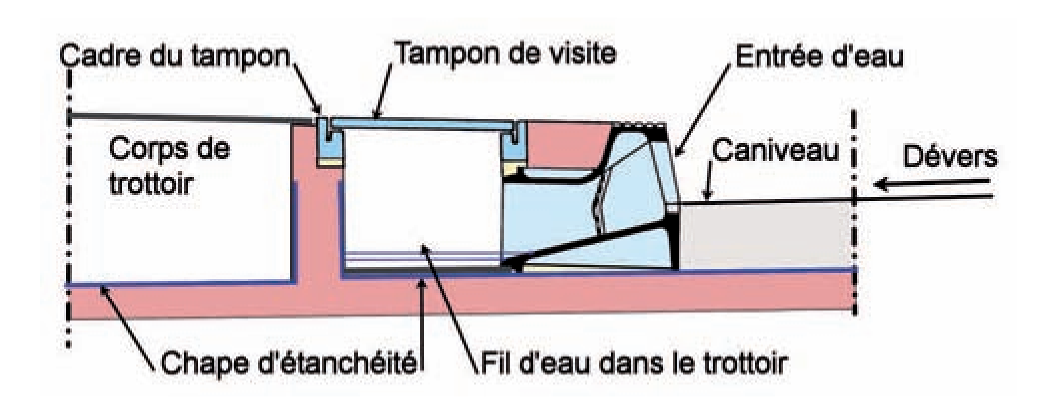


Figure n° 51 : schéma d'un fil d'eau sous trottoir

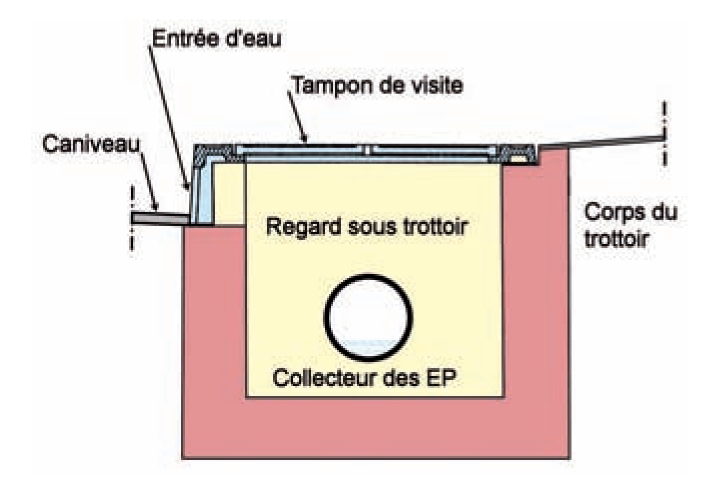


Figure n° 52 : schéma d'un réseau d'assainissement sous trottoir

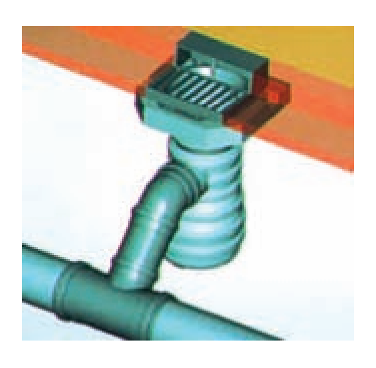


Photo n° 49 : système d'évacuation des eaux de ruissellement *(crédit photo Groupe Wavin France)*

Cas des ponts avec étanchéité en position intermédiaire :

La solution du réseau d'assainissement susvisée n'est envisageable que si la hauteur disponible entre le dessus de l'étanchéité et les couches de roulement permet de loger les regards, le collecteur… Les deux autres solutions susvisées et compatibles avec la chape en position basse sont aussi utilisables si la chape est en position intermédiaire. En cas de fuite, les eaux peuvent rejoindre les tranchées drainantes transversales pour s'évacuer par les drains et les travaux de remise en état des évacuations ne devraient pas avoir d'incidence néfaste sur l'étanchéité.

Cas des ponts avec étanchéité en position haute :

Parmi les solutions précédentes, celles qui placent des canalisations sous la chape sont totalement déconseillées car, en cas de fuite, les eaux vont agresser la maçonnerie et lors des travaux de remise en état, il faudra aussi procéder à la réfection de la chape d'étanchéité. Cependant, au moins deux solutions restent envisageables :

- l'intégration du fil d'eau dans le corps du trottoir,
- la réalisation de gargouilles transversales au travers du mur de tête au niveau du trottoir, ce qui a pour inconvénient de supprimer quasiment toute utilisation de celui-ci pour le passage de réseaux…

> Détails constructifs :

- **profil en travers du tablier :** les ponts en maçonnerie portent des chemins ruraux, des routes communales, départementales et nationales qui sont des voies à double sens de circulation parfois sans trottoir.

Le profil en travers de la chaussée doit présenter des pentes transversales destinées à favoriser l'écoulement des eaux vers les caniveaux. En alignement droit, l'ARP fixe une pente de 2,5%.

En présence de trottoirs, ceux-ci sont également inclinés vers les caniveaux, normalement à 2% en partie courante ;

- **profil en long du tablier :** Il est souhaitable que la pente longitudinale de la chaussée soit au moins de 1% pour favoriser l'écoulement des eaux. En cas d'impossibilité matérielle, une pente de 0,5% est le minimum absolu. Dans le cas d'un tablier quasiment plat, il faut alors jouer sur le profil en long des fils d'eau et multiplier les avaloirs.

- **caniveaux en bordure de chaussée :** pour faciliter l'écoulement des eaux, il faut que la surface des caniveaux soit la plus lisse possible. L'asphalte coulé permet d'obtenir un tel résultat. Dans le cas d'une chape d'étanchéité en position haute, le caniveau bloque les eaux qui percolent au travers des couches de roulement. Il faut donc prévoir des drains longitudinaux le long des caniveaux qui s'évacuent dans les autres dispositifs de drainage ;
- **trottoirs :** l'étanchéité des trottoirs (en particulier des trottoirs sur caniveaux à cause des dallettes préfabriquées) étant rarement efficace, il faut mettre en place au minimum des drains longitudinaux aux point bas reliés aux autres dispositifs de drainage et, si besoin est, une chape d'étanchéité (cas des trottoirs sur caniveaux) ;
- **pour un bon écoulement des eaux,** il faut, d'une part, interdire les piquages en angle droit entre les canalisations (ne pas dépasser 60°) et, d'autre part, équiper les jonctions de plaques hermétiques indispensables pour permettre le débouchage des canalisations.

Il est conseillé de se reporter au chapitre 2 du guide du SETRA de juin 1989 *qui donne de très nombreuses solutions pour disposer les différentes sortes d'avaloirs décalés ou non par rapport au fil d'eau.*

7.6.3.4 Dimensionnement des dispositifs d'évacuation des eaux

Se reporter à **l'annexe 4** [FABEM 6.4] qui détaille le processus de détermination des caractéristiques des dispositifs d'évacuation des eaux de ruissellement. Elle donne également des conseils complémentaires sur leur conception. Elle propose enfin **deux exemples simplifiés de dimensionnement** pour un pont courant en maçonnerie.

L'eau de pluie qui tombe sur la chaussée et les trottoirs et autres équipements d'un pont met un certain temps pour rejoindre le caniveau, mais l'eau du caniveau n'arrive à l'exutoire (avaloir) qu'après un autre laps de temps... Or l'intensité d'une averse varie suivant sa durée. Il faut donc tenir compte de ces différents facteurs pour calculer **le débit de ruissellement Q** qu'il faut ensuite comparer **au débit maximum** Q_C que peuvent absorber les différentes parties du réseau d'assainissement (caniveaux, avaloirs, canalisations...). Le problème se complique encore lorsqu'il faut prendre en compte le débit de ruissellement apporté par la chaussée, voire par le bassin versant situés de part et d'autre du pont. Un tel calcul nécessite d'avoir recours à **des logiciels spécialisés.**

NOTA : le Centre de la sécurité des transports et de la route du SETRA et le Certu *(ce dernier organisme intervient dans le cadre de la ville) ont édité un certain nombre de* ***guides techniques*** *sur la conception de l'assainissement routier, sur la conception des ouvrages de traitement des eaux polluées... ainsi que des logiciels.*

Rappel : le Certu propose deux logiciels :

- *le logiciel HYDROUTI 1.1 destiné aux projeteurs chargés de dimensionner un réseau d'assainissement ;*
- *le logiciel PAPYRUS destinés aux projeteurs chargés de faire le diagnostic d'un réseau d'assainissement existant.*

7.6.3.5 Protection de l'extrados de certains arcs en maçonnerie

L'extrados de ces arcs étant soumis directement à la pluie, un **rejointoiement** est donc nécessaire si les eaux percolent au travers de la maçonnerie.

Dans le cas où l'eau s'accumule dans certaines zones pour s'infiltrer dans le corps de l'arc (en particulier au pied des pilettes des voûtes d'élégissement), il faut créer des solins pour permettre l'évacuation des eaux en évitant que l'eau ne ruisselle sur les bandeaux (la photo ci-après montre les dispositions mises en œuvre pour **l'arc en béton armé du pont de la Caille,** dispositions qui peuvent être adaptées au cas d'un arc en maçonnerie). La mise en place d'un **larmier** peut s'avérer nécessaire pour limiter les écoulements sur les bandeaux.



Photo n° 50 : solin et descente d'eau pour protéger les bandeaux d'un arc *(crédit photo D. Poineau)*



Photo n° 51 : gargouille à l'extrados de l'arc du pont des Albarines *(crédit photo CG du Gard)*

NOTA : *dans le cas où les solutions développées ci-dessus ne suffiraient pas, il est possible d'envisager* ***la pose d'une chape non adhérente*** *en PVC ou en Hypalon® comme sur l'arc du pont de la Caille. Une telle solution n'a jamais été utilisée à notre connaissance sur un arc en maçonnerie. Elle est du domaine expérimental et nécessite l'aide d'un laboratoire spécialisé pour en connaître les avantages, les inconvénients et le domaine d'emploi.*

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

7.6.4 CHOIX DES PRODUITS ET MATÉRIAUX

> Cet article regroupe les produits et matériaux utilisés pour le drainage des eaux d'infiltration et de ruissellement.

7.6.4.1 Généralités

Les titres 1 et 2 du fascicule 70 du CCTG relatif aux ouvrages d'assainissement fixent les caractéristiques et qualités que doivent présenter les différents produits et matériaux (tuyaux d'évacuation des eaux, regards, tampons de fermeture, matériaux drainants…). Certaines des normes visées en référence par ces documents ont été abrogées ou remplacées, le présent guide tient compte de ces évolutions. **Les deux guides de mai 1992 et de décembre 2001** complètent en tant que de besoin les stipulations du fascicule. Il faut y ajouter **le guide de juin 1989** sur l'assainissement des ponts-routes.

> À noter les deux normes suivantes :

- **NF EN 752 :** Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments ;
- **NF EN 1671 :** Réseaux d'assainissement sous pression à l'extérieur des bâtiments.

7.6.4.2 Normes produits et matériaux

> Les tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile relèvent des normes suivantes :

- **NF EN 598 :** Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour l'assainissement – Prescriptions et méthodes d'essai ;
- **NF EN 877 :** Tuyaux et raccords en fonte, leurs assemblages et accessoires destinés à l'évacuation des eaux des bâtiments – Prescriptions, méthodes d'essai et assurance qualité;
- **NF EN 14525 :** Adaptateurs de brides et manchons à larges tolérances en fonte ductile destinés à être utilisés avec des tuyaux faits de différents matériaux : fonte ductile, fonte grise, acier, PVC-U, PE, fibre-ciment.

La norme NF EN 877 sert de support **à la marque NF 016 :** éléments de canalisation en fonte pour l'écoulement gravitaire (sans pression).

> Les tuyaux, raccords et accessoires en plastique (PVC, PP et PU) relèvent des normes suivantes :

- **NF EN 12666-1 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement enterrés sans pression – Polyéthylène (PE) – Partie 1 : spécifications pour les tubes, raccords et le système ;
- **XP CEN/TS 12666-2 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Polyéthylène (PE) – Partie 2 : guide pour l'évaluation de la conformité ;

- **NF EN 13598-1 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement enterrés sans pression – Polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), polypropylène (PP) et polyéthylène (PE) – Partie 1 : spécifications pour raccords auxiliaires y compris les boîtes de branchement ;
- **NF EN 13598-2 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement enterrés sans pression – Polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), polypropylène (PP) et polyéthylène (PE) – Partie 1 : spécifications relatives aux regards et aux boîtes d'inspection et de branchement dans les zones de circulation et dans les réseaux enterrés profondément ;
- **NF P 16-351 :** Systèmes de canalisations en plastique pour drainage enterré – Spécifications pour le génie civil ;
- **NF EN 13476-1 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Systèmes de canalisations à parois structurées en polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), en polypropylène (PP) et polyéthylène (PE) – Partie 1 : exigences générales et caractéristiques de performance ;
- **NF EN 13476-2 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Systèmes de canalisations à parois structurées en polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), en polypropylène (PP) et polyéthylène (PE) – Partie 2 : spécifications pour les tubes et raccords avec une surface interne et externe lisse et le système de Type A ;
- **NF EN 13476-3 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Systèmes de canalisations à parois structurées en polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), en polypropylène (PP) et polyéthylène (PE) – Partie 3 : spécifications pour les tubes et raccords avec une surface interne et externe lisse et le système de Type B ;
- **XP EN 13476-4 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Systèmes de canalisations à parois structurées en polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U), en polypropylène (PP) et polyéthylène (PE) – Partie 4 : guide pour l'évaluation de la conformité ;
- **NF ENV 1401-1 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U) - Partie 1 : spécifications pour tubes, raccords st le système ;
- **XP ENV 1401-2 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U) - Partie 2 : guide pour l'évaluation de la conformité ;
- **XP ENV 1401-3 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Polychlorure de vinyle non plastifié (PVC-U) - Partie 3 : guide pour la pose ;
- **NF EN 14364+A1 :** Systèmes de canalisations en plastique pour l'évacuation et l'assainissement avec ou sans pression – Plastiques thermodurcissables renforcés de verre (PRV) à base de résine de polyester non saturé (UP) – Spécifications pour tubes, raccords et assemblages ;

- **NF EN 14758-1 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et les collecteurs d'assainissement sans pression – polypropylène avec modificateurs minéraux (PP-MD) – Partie 1 : spécifications pour les tubes, les raccords et le système ;
- **XP CEN/TS 14758-2 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et les collecteurs d'assainissement sans pression – polypropylène avec modificateurs minéraux (PP-MD) – Partie 2 : guide pour l'évaluation de la conformité ;
- **NF EN 1852-1 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Polypropylène (PP) - Partie 1 : spécifications pour tubes, raccords st le système ;
- **XP ENV 1852-2 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Polypropylène (PP) - Partie 2 : guide pour l'évaluation de la conformité ;
- **XP CEN/TS 1852-3 :** Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et collecteurs d'assainissement sans pression enterrés – Polypropylène (PP) - Partie 3 : guide pour la pose.

NOTA : ***les normes EN 13476-1, 2, 3 et 4*** *traitent des canalisations en plastique à parois structurées. Il s'agit de canalisations de gros diamètre qui peuvent concerner les évacuations des eaux de ruissellement mais pas celles d'infiltration.*

> Les tuyaux, raccords et accessoires en acier inoxydable relèvent des normes suivantes :

- **NF EN 11124-1 :** Tubes et raccords de tubes soudés longitudinalement en acier inoxydable, à manchon enfichable pour réseaux d'assainissement – Partie 1 : prescriptions, essais, contrôle qualité (voir aussi l'additif A1) ;
- **NF EN 11124-2 :** Tubes et raccords de tubes soudés longitudinalement en acier inoxydable, à manchon enfichable pour réseaux d'assainissement – Partie 2 : système S - dimensions ;
- **NF EN 11124-3 :** Tubes et raccords de tubes soudés longitudinalement en acier inoxydable, à manchon enfichable pour réseaux d'assainissement – Partie 3 : système X - dimensions.

> Les tuyaux, raccords et accessoires en béton armé et non armé relèvent des normes suivantes :

- **NF P 16-341 :** Évacuation et assainissement – Tuyaux circulaires en béton armé et non armé pour réseaux d'assainissement sans pression – Définitions, marquage, conditions de réception ;
- **NF P 16-342 :** Évacuation et assainissement – Éléments fabriqués en usine pour regards de visite en béton sur canalisations d'assainissement – Définitions, spécifications, méthodes d'essai, marquage, conditions de réception ;

- **NF EN 1917 :** Regards de visite et boîtes de branchement en béton non armé, béton fibré acier et béton armé ;
- **NF P 16-346-2 :** Regards de visite et boîtes de branchement en béton non armé, béton fibré acier et béton armé – Partie 2 complément à NF EN 1917.

Les normes NF P 16-341 NF P 16-342 servent de support à la **marque NF 120 :** éléments béton pour assainissement.

NOTA : *de telles canalisations peuvent être utilisée pour le raccordement à un réseau d'assainissement existant.*

> Les cadres tampons et grilles en fonte ductile relèvent des normes suivantes :

- **NF EN 1563 :** Fonderie – Fonte à graphite sphéroïdal ;
- **NF EN 124 :** Dispositifs de couronnement et de fermeture pour les zones de circulation pour les piétons et véhicules – Principes de construction, essais types, marquage et contrôle qualité.

La norme NF EN 124 sert de support à la **marque NF 110 :** Voirie. Il est à noter qu'elle fixe pour les produits plusieurs niveaux de performances (B 125 à F 900) en fonction des charges à supporter. **La classe D 400** est utilisée pour les dispositifs sur chaussée directement soumis au trafic des poids lourds et **la classe C250** est utilisée pour les grilles-caniveaux le long des chaussées.

ATTENTION, *il appartient au* ***marché*** *de préciser la classe de performances des différents produits exposés au trafic.*

Les bordures de trottoir et les caniveaux relèvent de la norme **NF EN 1340** complétée par la norme **NF P 98-340/CN** : Éléments pour bordures de trottoirs en béton – Prescriptions et méthodes d'essai – Compléments national à la NF EN 1340 : Produits industriels préfabriqués – Bordures et caniveaux – Profils.

Les spécifications concernant les **géotextiles** figurent dans l'article 7.5.5.3.2 ci-dessus.

Les matériaux drainants pour la constitution des fossés drainants ou des tranchées drainantes visés par le **titre 2 du fascicule 70 du CCTG** relèvent de la norme **XP P 18-545** qui a remplacé la norme **XP P 18-540.**

> Pour assurer leur rôle de drainage, stockage et évacuation, ils doivent satisfaire aux spécifications suivantes :

- $d \geq 8$ mm, $D \geq 1/4$ de l'épaisseur de la couche et $D/d \geq 3$;
- passant à 80 µm ≤ 2% ;
- LA ≤ 30 et MDE ≤ 25 ;
- Teneur des vides ≥ 30%.

Si besoin est, par exemple s'il y a un risque de gélivité des granulats, le **marché** introduit des exigences supplémentaires.

Les produits de calage relèvent des normes XF P 18-821 et XF P 18-822 et ceux de scellement de la norme NF EN 1504-6.

7.6.5 CHOIX DES MATÉRIELS

Les matériels à utiliser pour la réalisation des dispositifs de drainage des eaux d'infiltration et de ruissellement sont proposés par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure relative aux travaux de drainage** qui doit satisfaire aux prescriptions **des titres 1 et 2 du fascicule 70 du CCTG,** complétées par le **guide du SETRA de juin 1989** sur l'assainissement des ponts-routes et le **guide du SETRA de mai 1992 sur l'assainissement des ponts en maçonnerie** et aux prescriptions spécifiques du **marché**. Cette **procédure** peut être intégrée dans la **procédure relative aux travaux d'étanchéité** visée par le chapitre 7.5 ci-dessus.

Les matériels de percement des trous de passage des gargouilles et drains au travers de la maçonnerie doivent, normalement, être des matériels de forage avec des couronnes diamantées pour éviter les dommages que peuvent causer des outils de forage par roto-percussion. Il appartient au **marché** de fixer les exigences.

7.6.6 MODES OPÉRATOIRES

7.6.6.1 Généralités

Les modes opératoires pour la réalisation des dispositifs de drainage des eaux d'infiltration et de ruissellement sont proposés par **l'entrepreneur** à l'acceptation du **maître d'œuvre** dans le cas de la **procédure relative aux travaux de drainage,** qui doit satisfaire aux prescriptions des **titres 1 et 2 du fascicule 70 du CCTG,** complétées par le **guide du SETRA de juin 1989** sur l'assainissement des ponts-routes et le **guide du SETRA de mai 1992 sur l'assainissement des ponts en maçonnerie** et aux prescriptions spécifiques du **marché**. Cette **procédure** peut être intégrée dans la procédure relative aux travaux d'étanchéité.

La pose des bordures de trottoir et la réalisation des caniveaux relèvent du fascicule 31 du CCTG.

La réalisation des perrés liés aux caniveaux et cunettes de descentes des eaux relève du fascicule 64 du CCTG.

Les opérations liées aux terrassements relèvent du fascicule 2 du CCTG.

Lors des travaux, l'entrepreneur doit prendre toutes les dispositions pour éviter, qu'en cas de pluie violente, les eaux de ruissellement ne causent des dommages à l'ouvrage en cours de réparation. Il appartient à **l'entrepreneur** de proposer ces dispositions dans la **procédure relative aux travaux de drainage** et ce, dans le respect des clauses du **marché**.

7.6.6.2 Travaux de drainage des eaux d'infiltration

> Les principales opérations liées aux travaux de drainage des eaux d'infiltration concernent :

- la réhabilitation des gargouilles existantes ou la création de nouvelles gargouilles dans le cas de la chape en position basse ;
- la création de gargouilles ou drains dans le cas où la chape est à réaliser en position haute ou intermédiaire ;
- la réalisation de fossés ou de tranchées drainantes et la pose de drains transversaux aux abouts.

Les opérations, comme la pose de drains longitudinaux le long des caniveaux ou dans les trottoirs (cas de la chape d'étanchéité en position haute), sont directement liées aux travaux de réalisation des couches de roulement comme dans le cas d'un ouvrage neuf. Elles ne nécessitent pas de développements dans cet article du présent guide.

La réhabilitation des gargouilles existantes ou la création de nouvelles gargouilles dans le cas de la chape en position basse :

Le tube d'évacuation des eaux doit être placé dans un tube scellé dans la maçonnerie et qui sert de coffrage et de goutte d'eau. De plus, le tube doit être muni d'une collerette ou d'une platine qui doit être prise en sandwich entre deux couches de la chape d'étanchéité.

Le chapitre 2 du **guide du SETRA de juin 1989** relatif à l'assainissement des ponts-routes détaille, à partir de la page 23, la conception et la réalisation de telles gargouilles.

La création de nouvelles gargouilles ou drains dans le cas de la chape en position haute ou intermédiaire :

La page 41 du **guide du SETRA de mai 1992** relatif à l'assainissement des ponts en maçonnerie décrit, dans le détail, les différentes phases de réalisation de telles gargouilles ou drains. Il faut réaliser ces dispositifs avant tout remblaiement de façon à pouvoir tester leur efficacité.

La réalisation de fossés ou de tranchées drainantes et la pose de drains transversaux :

Le titre 2 du fascicule 70 du CCTG décrit dans le détail les méthodes d'exécution des puits et tranchées drainantes. Il convient d'utiliser le **guide de rédaction des CCTP** annexé à ce fascicule pour adapter le **marché** à la spécificité des travaux à exécuter.

Les géotextiles sont mis en œuvre en respectant les **recommandations pour l'emploi des géotextiles pour les systèmes de drainage et filtration** éditées par le Comité français des géotextiles d'avril 1986.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

7.6.6.3 Travaux de drainage des eaux de ruissellement

> Les principales opérations liées aux travaux de drainage des eaux de ruissellement concernent la réalisation :

- de caniveaux le long des trottoirs ;
- d'avaloirs reliés ou non à un réseau de collecte des eaux ;
- de dispositifs de récupération des eaux aux extrémités de l'ouvrage (descentes d'eau sous forme de caniveaux et cunettes, fossés, regards, collecteurs…) ;
- d'un revêtement sur le dessus des trottoirs et, si nécessaire, d'une chape d'étanchéité dans les caniveaux sous trottoir ;
- de drains le long des caniveaux et dans les trottoirs pour récupérer les eaux d'infiltration…

La majeure partie des travaux susvisés ne relèvent pas des techniques liées aux réparations. Les procédures d'exécution relèvent essentiellement des différents **fascicules du CCTG,** des **guides du SETRA** et du **CCTP-type ouvrages d'art.**

La réalisation des caniveaux en asphalte le long des trottoirs nécessite la mise en place de coffrages. Les drains longitudinaux sont posés le long des caniveaux avant la mise en œuvre des couches de roulement.

La réalisation des réseaux d'assainissement relèvent du **titre 2 du fascicule 70 du CCTG** et de la norme **NF EN 1671** : Mise en œuvre et essai des branchements et collecteurs d'assainissement.



Photo n° 52 : descente d'eau préfabriquée sur un remblai *(crédit photo LPB)*

7.6.7 ESSAIS ET CONTRÔLES

Il appartient au **marché** de fixer les essais et contrôles à effectuer en fonction des types de drainage à réaliser.

> Parmi les essais et contrôles, il faut prévoir :

- avant la réalisation de la chape d'étanchéité, de contrôler que les pentes et contre-pentes permettent aux eaux de s'écouler vers les exutoires (gargouilles) sans stagner, y compris les gargouilles transversales et les fossés drainants ;
- en cas de création de gargouilles ou drains par forage à partir de l'intrados, de tester leur efficacité pendant que la surface du remplissage est encore directement soumise aux intempéries, c'est-à-dire avant tout remblaiement et pose de l'étanchéité ;
- après la réalisation de la chape, le même contrôle qu'avant sa réalisation ;
- les essais relatifs au fonctionnement des fossés drainants et des tranchées drainantes ;
- de s'assurer que les tranchées ont été correctement remblayées conformément au **titre 1 du fascicule 70 du CCTG ;**
- de s'assurer que les caniveaux en asphalte ou en béton ont été réalisés en respectant les tolérances d'exécution (extrait du CCTP-type OA) :
  - caniveaux en asphalte coulé :
    - ± 1 cm pour les dimensions,
    - ± 5 mm d'écart sur 10 m par rapport au profil en long (ligne parallèle à la ligne rouge),
  - caniveaux et cunettes en béton coulés en place ou préfabriqués :
    - ± 2 mm à la règle de 2 m
- un essai en eau des caniveaux pour vérifier le bon écoulement des eaux et l'absence de zones de stagnation ;
- de s'assurer de la bonne réalisation et du bon fonctionnement des collecteurs et du réseau d'assainissement en appliquant les exigences du **titre 2 du fascicule 70 du CCTG** et de la norme **NF EN 1671** susvisée.

7.6.8 RÉCEPTION DES TRAVAUX (pour mémoire)

Se reporter au paragraphe 5.11 du guide FABEM 6.1.

7.7.1 GÉNÉRALITÉS - ÉTUDES PRÉALABLES - DIAGNOSTIC



Photo n° 53 : désordres dus à des remontées d'humidité et de sels et survenus juste après une période de gel
(crédit photo D. Poineau)

*Il existe un certain nombre de solution de traitement des **«pierres malades»** décrites dans le présent guide mais, **si les remontées d'humidité et de sels ne sont pas stoppées,** les réparations n'auront qu'une durée de vie limitée. **Il faut donc, en premier lieu, empêcher les remontées d'humidité et de sels et, ensuite, traiter les désordres.***

Il y a lieu de rappeler que **les remontées se manifestent dans les parties basses de la maçonnerie au-dessus du terrain naturel, dans les zones où se produit l'évaporation des eaux chargées en sels.**

La photo ci-dessus montre les désordres occasionnés par une remontée d'humidité et de sels dans un mur. Les chutes de morceaux de pierres apparaissent, en général, juste après une période de gel.

Il est à noter que les remontées d'humidité et de sels, dans le génie civil, n'affectent que peu d'ouvrages, tels que murs de soutènements et appuis de ponts.

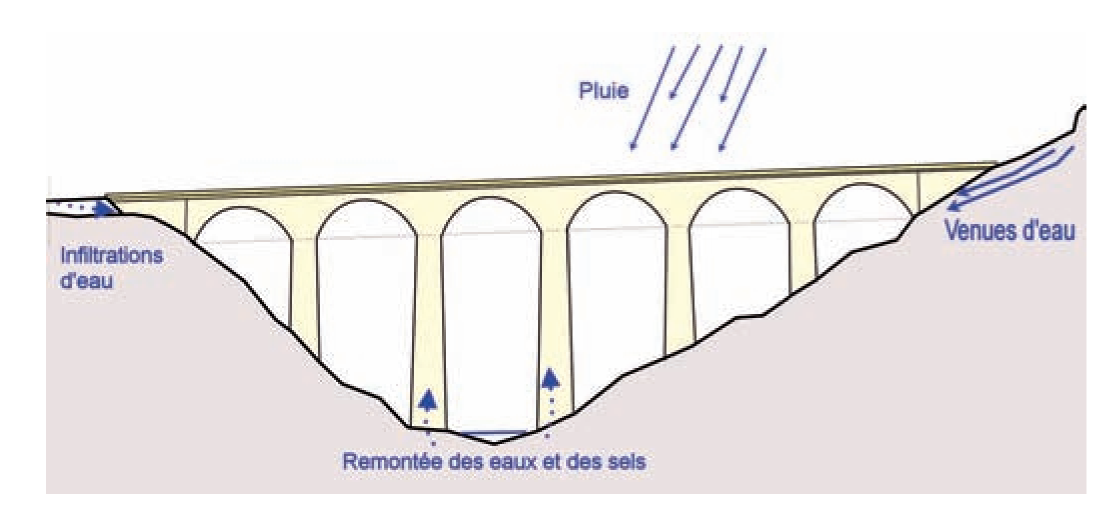


Figure n° 53 : origines des venues d'eau

> ***ATTENTION,*** *si le phénomène affecte* ***les parties hautes de la maçonnerie, les désordres sont dus aux eaux de ruissellement*** *à la surface du pont qui s'infiltrent dans le remplissage et qui traversent les murs pour s'évaporer à la surface des pierres des parements.*

Les traitements pour stopper les venues d'eau relèvent des chapitres 7.5 et 7.6 ci-dessus et les traitements des désordres de l'article 7.7.3 ci-dessous.

Des investigations sont à faire réaliser par un **laboratoire** ou un **bureau d'études spécialisé** pour le compte du **maître d'ouvrage** durant la **phase projet** afin de connaître l'importance des phénomènes en cause. Les investigations à effectuer dépendent de l'importance et de l'origine probable des problèmes rencontrés.

Il est important de réaliser un **bon diagnostic** qui doit permettre de déterminer les origines des désordres dus à de l'humidité. En effet, trop souvent, il est constaté sur des chantiers des **erreurs de diagnostic** qui conduisent à traiter des murs contre les remontées d'eau, alors que les phénomènes en cause étaient dus à des problèmes de condensation ou d'infiltrations.

Les diagnostics sérieux se font en général à l'aide de **prélèvements de matériaux** que l'on fait sécher pour mesurer leur **teneur en eau.** Par exemple, dans un mur, il est nécessaire de distinguer les **teneurs en eau de l'enduit,** du **mortier de pose** et de la **pierre ou de la brique.** Ces mesures doivent être réalisées à différentes hauteurs, en surface et dans l'épaisseur du mur. Elles permettront de savoir quelle partie du mur est le siège d'une circulation d'eau.

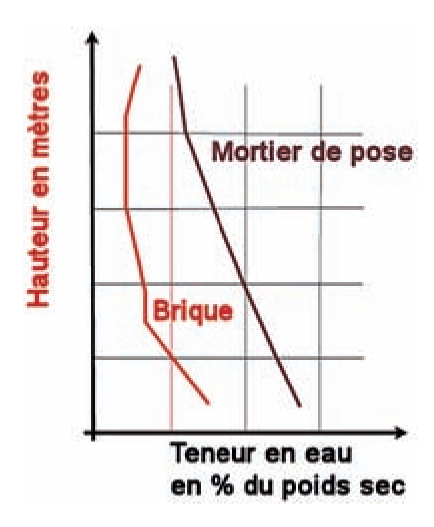


***Figure n° 54** : ici les mesures de teneur en eau montrent que la circulation d'eau concerne surtout le mortier de pose*

Il est possible de compléter ces mesures ponctuelle en utilisant des **humidimètres capacitifs,** à condition de réaliser un **étalonnage** entre les valeurs électriques obtenues et les résultats de teneur en eau déterminés par prélèvements. Cela permet de tracer les **gradients d'humidité** comparatifs des différents matériaux constituant le mur. C'est à l'aide de ces courbes d'humidité comparatives des différents matériaux constituant le mur que l'on peut diagnostiquer avec sûreté les causes de l'humidité.

> En outre, pour les problèmes complexes, c'est-à-dire lorsque les origines de la présence d'eau sont multiples, il faut mettre l'ouvrage en observation pendant quelques mois à l'aide d'enregistrements en continu et simultanés des mesures suivantes :

- température (ambiance et surfaces),
- humidité relative de l'air,
- humidité de surface (condensation) et à cœur des matériaux,
- variation du niveau de la nappe phréatique (piézomètre), si nécessaire.

Ces informations sont recueillies en continu par une **centrale de mesure** (microordinateur) qui, selon le cas, peut-être reliée par téléphone directement au bureau ou au laboratoire.

> Avant de lancer une telle campagne de mesures, il est nécessaire de connaître :

- la configuration du terrain, sous la forme d'un plan avec les lignes de niveau et un relevé de la présence de sources, de zones humides..., ce qui permet de fixer les implantations des piézomètres ;

- la nature des sels en cause (chlorures, nitrates, sulfates…) et la teneur en sels des eaux, des sols et des pierres[12] ;
- les emplacements et les surfaces des zones touchées par le phénomène…

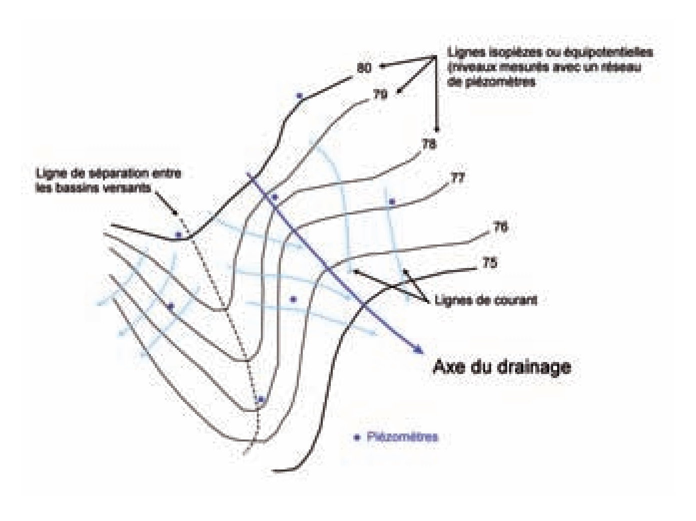


Figure n° 55 : résultats d'une étude piézométrique

7.7.2 LES MÉTHODES DE LUTTE CONTRE LES REMONTÉES CAPILLAIRES

7.7.2.1 Généralités

La liste qui suit donne les méthodes de traitement contre les remontées capillaires avec des recommandations pour leur emploi, voire contre leur emploi, soit en bâtiment (B), soit en monument historique (MH) ou enfin en génie civil (GC).

> les traitements qui ont pour but d'empêcher l'eau d'arriver aux fondations :

- galerie périphérique (B), (MH), (GC),
- drains situés à proximité ou contre la fondation (B), (MH), (GC) ;

> les traitements qui ont pour but d'empêcher l'eau de remonter dans les fondations :

- barrière étanche (B), (MH), (GC),
- imperméabilisation dans la masse (B), (MH), (GC) ;

[12] Le fascicule technique des monuments historiques limite les teneurs en sels comme suit : Chlorures ≤ 0,1% - Nitrates ≤ 0,5% - Sulfates en provenance du gypse ≤ 5% - Sulfates associé avec sodium, potassium magnésium… ≤ 0,1%

> les traitements qui ont pour but d'évacuer l'eau qui imprègne les fondations :

- électro-osmose passive **(traitement NON RECOMMANDÉ),**
- électro-osmose active (B), (MH),
- électrophorèse (B), (MH),
- électro-osmose couplée à l'électrophorèse (B), (MH),
- siphons ou drains atmosphériques **(traitement NON RECOMMANDÉ),**
- assèchement dit «électronique» **(procédé récent, manquant de retour d'expérience),**
- sous-enduits drainants (B), (MH), (GC).

La suite du texte liste les avantages et les inconvénients des différentes méthodes et indique celles qui n'ont pas donné les résultats escomptés et qu'il est donc inutile de mettre en œuvre.

Bien entendu, il est possible d'allier plusieurs **méthodes de traitement** pour stopper les remontées capillaires.

Dans le domaine des appuis de ponts en maçonnerie et des murs de soutènement, il faut adapter les solutions aux particularités de ces ouvrages, sachant que les remontées de sels concernent principalement les parties à terre au contact des sols (ponts complètement en site terrestre, appuis de ponts dans le lit majeur d'un cours d'eau…), voire des parties au contact direct d'eaux saumâtres… Seules quelques-unes des solutions développées ci-après ne sont applicables aux ponts.

7.7.2.2 Les traitements qui ont pour but d'empêcher l'eau d'arriver aux fondations

7.7.2.2.1 Généralités

> Les différents types de traitements pour empêcher l'eau d'arriver aux fondations sont les suivants :

- les galeries périphériques ;
- les drains sensiblement horizontaux ;
- les drains combinés verticaux et horizontaux.

7.7.2.2.2 Galerie périphérique ventilée

Il est rappelé que l'humidité provient essentiellement des sols en contact avec les parois latérales et moins par le dessous de la fondation. La réalisation d'une galerie périphérique aérée peut contribuer à assainir la maçonnerie en permettant l'évaporation de l'humidité au niveau inférieur. Le principe de la galerie est illustré par la figure ci-après.

> DOMAINE D'EMPLOI :

La solution de la galerie périphérique est utilisée depuis de nombreuse années dans le domaine du bâtiment et particulièrement des bâtiments historiques.

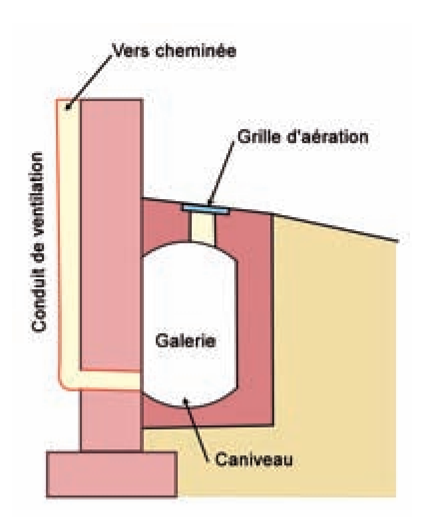


Figure n° 56 : galerie périphérique

> Par contre, une telle solution ne parait guère adaptable aux murs de soutènement et appuis de ponts en maçonnerie. En effet :

- pour les murs, il n'est pas possible de créer la galerie à l'arrière des murs et, à l'avant, elle met en jeu leur stabilité en supprimant la contre-poussée ;
- pour les appuis de ponts, rares sont ceux qui ne sont pas en contact avec un cours d'eau ou une nappe phréatique pour qu'il n'y ait pas un risque d'inondation de la galerie.

7.7.2.2.3 Drains classiques quasiment horizontaux

Le drainage des sols à proximité d'un bâtiment par des tranchées drainantes ou de puits drainants est un procédé classique pour assécher la base d'un mur. Les dispositions à adopter figurent dans **la partie 2 du DTU 20.1** (ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs).

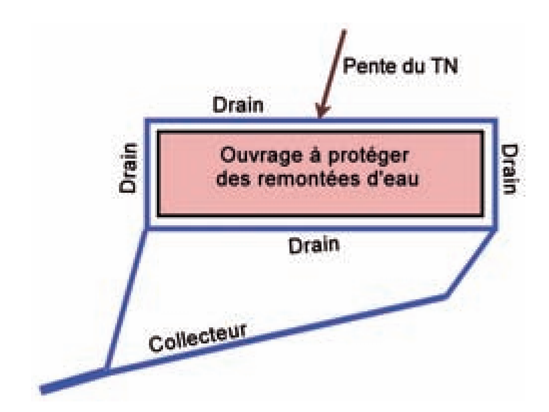


Figure n° 57 : schéma d'implantation des drains sur un terrain en pente

ATTENTION : ce procédé ne peut être appliqué que si l'eau captée par le drain peut être réellement évacuée.

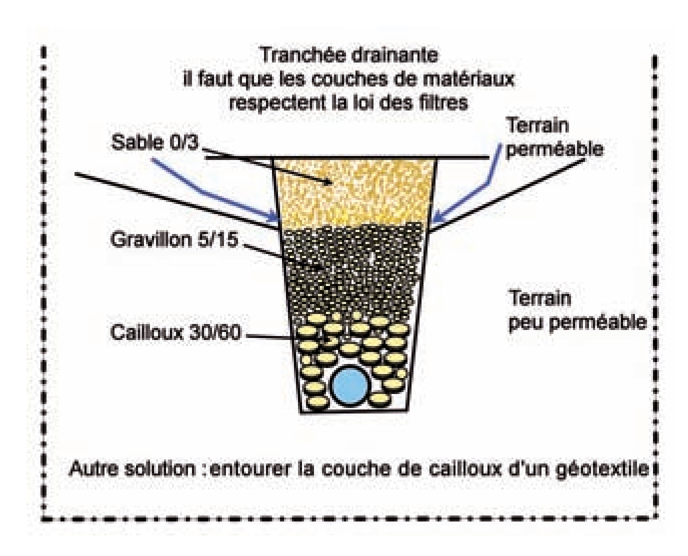


Figure n° 58 : coupe type d'une tranchée drainante

La tranchée drainante est disposée, soit au contact du mur, soit à une certaine distance du mur. Dans le premier cas, **la profondeur de la tranchée ne doit pas descendre plus bas que celui des fondations.** Dans le second cas, il est possible d'augmenter la profondeur de la tranchée en tenant compte d'un risque de décompression du sol de fondation qui dépend de la nature du sol de fondation.

> Avant de faire une étude de stabilité, en première approximation, il faut respecter les règles suivantes :

- l/h ≥ 3 pour un sol argileux ;
- l/h ≥ 10 pour un sol de sables fins (risque d'entraînement des fines).

Une autre solution consiste à entourer l'ensemble de la tranchée, seulement remplie de gravillons, à l'aide d'un géotextile, pour éviter son colmatage et la décompression des sols par élimination des fines.

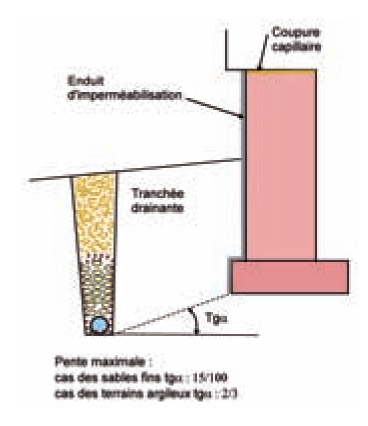


Figure n° 59 : disposition type d'une tranchée drainante à côté d'un ouvrage en maçonnerie

Les matériaux de remplissage de la tranchée drainante doivent respecter la loi des filtres pour éviter le colmatage du drain par les fines qui peuvent être entraînées par l'eau.

> LOI DES FILTRES :

- **Règle de Terzaghi :**

$$\frac{df_{(15)}}{ds_{(85)}} < 4.ou.5 < \frac{df_{(15)}}{ds_{(15)}} < 20$$

> Avec :

- **15 et 85** représentent le pourcentage de passant lors d'une analyse granulométrique du matériau de remblaiement.

- **df** représente le diamètre des plus gros granulats.

- **ds** représente le diamètre minimum des granulats les plus fins, tel que ces granulats ne puissent pas être entrainés par l'eau au travers des interstices entre les grains les plus gros.

Dans le cas d'une canalisation de drainage, il faut s'assurer que le diamètre des trous ou la largeur des fentes respectent les valeurs limites suivantes :

$$df_{85} > 1{,}2\,à\,2\,(le\ D_{max}\ des\ ouvertures\ ou\ L_{max}\ des\ fentes)$$

La mise en place d'un géotextile autour des de la couche de cailloux permet de s'affranchir de la mise en place de plusieurs couches de matériaux de granulométrie adaptée.

> Cas des drains subhorizontaux :

Dans le cas où la pose de drains classiques après réalisation d'une fouille n'est pas possible (par exemple : en arrière d'une culée, d'un arc en maçonnerie pour ne pas risquer de mettre en jeu la stabilité de la structure…), l'exécution de **drains subhorizontaux** peut être une solution qui doit faire l'objet d'une **étude de faisabilité lors des études préalables.**

Les drains subhorizontaux sont constitués de tubes crépinés placés à l'intérieur de forages faiblement inclinés sur l'horizontale (la pente doit être > 3% pour faciliter l'évacuation des sédiments lors du forage et éviter les contre-pentes empêchant le fonctionnement des drains). Ces drains sont très efficaces dans les sols fissurés. Bien entendu, il n'est pas possible de les entourer d'un filtre artificiel et ils peuvent donc se colmater. En conséquence, ils nécessitent une surveillance et des opérations d'entretien par lavage en cas de colmatage.

> DOMAINE D'EMPLOI :

Les réseaux de drains sont couramment utilisés pour assainir un lotissement, un terrain de sport… Ils peuvent aussi être utilisés dans le domaine des **murs de soutènement** et des **appuis de ponts en maçonnerie :**

- d'une part, sous forme de **tranchées drainantes** placées, par exemple, aux extrémités des ponts pour empêcher l'infiltration des eaux dans les matériaux de remplissage des voûtes (se reporter à l'article 7.5 ci-devant) ;
- d'autre part, sous forme de **drains subhorizontaux** mis en place par forage pour intercepter les écoulements souterrains en provenance des versants qui surplombent un pont ou un mur.

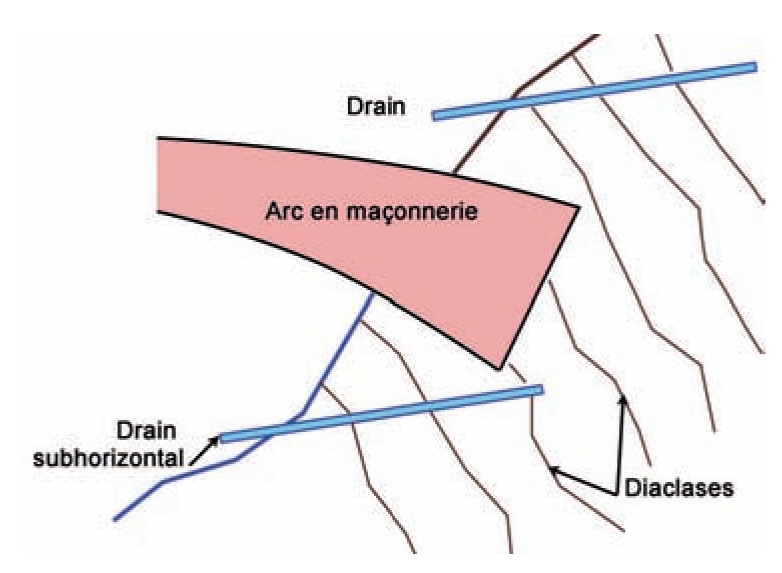


Figure n° 60 : drains subhorizontaux interceptant les diaclases où circulent les eaux

7.7.2.2.4 Le drainage renforcé horizontal et vertical

Une solution plus efficace que les drains classiques consiste à combiner l'action du **drainage traditionnel** avec celle d'un **drainage vertical,** constitué par exemple de blocs de béton poreux disposés de façon à ménager une **lame d'air** le long du mur. Il est recommandé de disposer un géotextile le long du drain vertical et autour du drain horizontal afin d'éviter le colmatage à long terme par les fines. Ce type de drainage est illustré par les figures qui suivent.

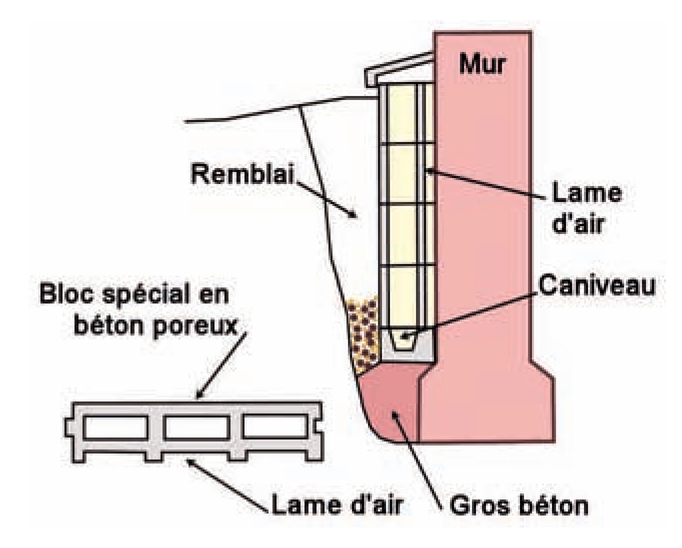


Figure n° 61 : drainage mixte le long d'un mur cas n°1

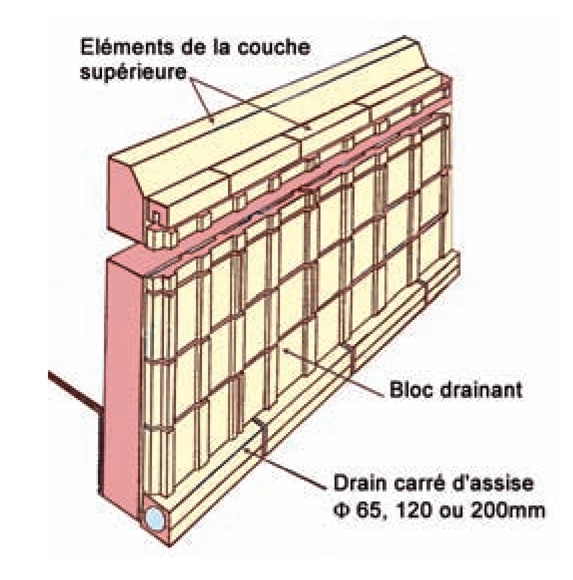


Figure n° 62 : drainage mixte le long d'un mur cas n°2

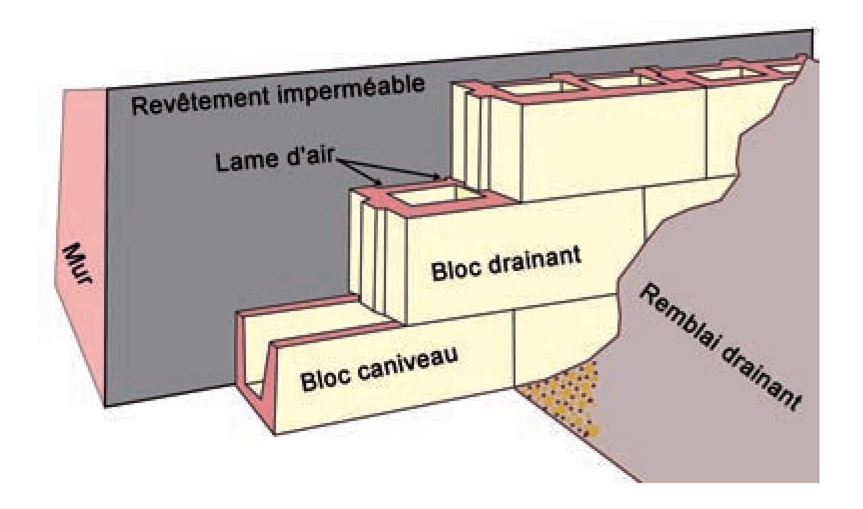


Figure n° 63 : drainage mixte le long d'un mur cas n°3

Il est aussi possible d'utiliser des **géomembranes spécifiques,** à disposer verticalement le long des fondations. Dans ce cas il faut vérifier leur bonne tenue. Il faut veiller, en particulier, au **risque d'écrasement du produit** sous une grande hauteur de remblais, ce qui peut supprimer toute ventilation le long du massif de fondation et rendre le système inefficace.

> DOMAINE D'EMPLOI :

Ce procédé est appliqué couramment dans le **domaine du bâtiment** et des **monuments historiques** mais aussi dans le **domaine du génie civil,** par exemple pour assainir un mur de soutènement, un mur en retour, un mur en aile, une pile… sous réserve que l'eau captée par le drain puisse être évacuée mais aussi ne puisse pas circuler en sens inverse. Ce procédé n'est donc envisageable que pour des appuis de ponts hors d'eau (ouvrage en site terrestre, dans le lit majeur si les crues sont rares et de faible durée…). En effet, en présence d'eau, par temps de crue, le drain peut fonctionner en sens inverse et apporter l'eau là où elle a des effets nuisibles.

La création de tels drainages impose la réalisation de fouilles autour ou derrière les ouvrages. L'étude préalable aux travaux doit s'assurer que la **stabilité de ceux-ci** ne risque pas d'être mise en jeu par les terrassements.

Lors de la construction de bâtiments, ce type de drains doit être complété par la création de **coupures étanches** juste au dessus du niveau du sol. **Se reporter à la partie 2 du DTU 20.1** (ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs) et à la figure 59 ci-devant.

Dans les ouvrages existants, ce sont les études préalables visées à l'article 7.7.1 ci-dessus qui peuvent conduire à imposer la **création de telles coupures qui font partie des traitements radicaux des remontées d'humidité et de sels.**

7.7.2.3 Les traitements qui ont pour but d'empêcher l'eau de remonter dans les fondations

7.7.2.3.1 Généralités

> Les différents types de traitements pour empêcher l'eau de remonter dans les fondations sont les suivants :

- les barrières étanches ;
- l'imperméabilisation dans la masse.

7.7.2.3.2 Barrière étanche (ou coupure de capillarité)

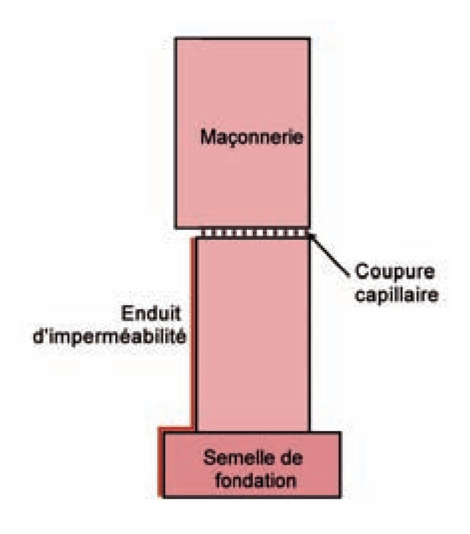


Figure n° 64 : schéma d'implantation d'une coupure capillaire

Pour les bâtiments neufs, le DTU 20.1 (ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs) donne dans son article 3.1 les dispositions à adopter pour les **coupures de capillarité** (0,15 m au-dessus du niveau du sol extérieur après remblaiement pour éviter les risques d'humidification par le rejaillissement des eaux de pluie) et les **enduits** sur les murs de fondation.

> Le DTU indique, pour la coupure étanche, l'utilisation :

- de bandes de feutre bitumé ou de bitume armé ou de polyéthylène posées à sec sur un mortier de 2 cm d'épaisseur dosé, par m³ de sable sec 0/3 mm, de 300 à 350 kg de ciment. Les bandes sont à protéger par une seconde couche de mortier de même composition ;
- d'une chape en mortier de ciment dosé par, m³ de sable sec 0/3, de 500 à 600 kg de ciment additionné d'un hydrofuge.

Le DTU indique que les enduits sont exécutés conformément aux dispositions du **DTU 26.1**, soit avec un enduit traditionnel, soit avec un enduit d'étanchéité, qui peuvent, en sus, recevoir un revêtement d'étanchéité bitumineux appliqué en deux couches.



Photo n° 54 : effets néfastes de l'application d'un enduit sur un pont en maçonnerie *(crédit photo Michotey)*

ATTENTION : en l'absence de coupure étanche dans un mur soumis à des remontées capillaires, *l'application d'un enduit à base de liants hydrauliques sur le mur fait remonter le niveau de la zone humide sans résoudre le problème (voir ci-après l'article consacré aux enduits drainants).*

Dans les ouvrages existants, les coupures de capillarité sont assimilées à des **reprises en sous-œuvre.** Elles peuvent être réalisées par mise en place, dans une saignée préalablement effectuée à la base de la partie d'ouvrage concernée et à au moins 15 cm au-dessus du sol fini (incidence des rejaillissements), d'un matériau imperméable (mortier étanche à base de liants minéraux ou organiques, feuille de feutre bitumé, de plomb, de cuivre, ou de polyéthylène…



Photo n° 55 : plaque métallique gaufrée du procédé Huckendubler *(crédit photo A. Bouineau)*

Une autre méthode (procédé Huckendubler®), consiste à introduire, après sciage d'une partie de l'épaisseur du mur, par force (pression et vibration) des plaques de tôle ondulée en acier inoxydable sur toute son épaisseur. La mise en œuvre est facilitée lorsque la maçonnerie est assisée (pierres de taille, moellons d'appareil, moellons assisés, briques...). Ce procédé n'est recommandé que pour les bâtiments (B) et les monuments historiques (MH).



Photo n° 56 : mise en œuvre d'une plaque *(crédit photo A. Bouineau)*

> La réalisation de la saignée peut faire appel aux divers procédés suivants :

- par simple sciage, par exemple au moyen d'un disque diamanté ;
- par carottages jointifs ;
- par une haveuse à chaine ;
- par un fil diamanté…

Les disques et les fils diamantés permettent d'obtenir des coupes nettes et de faible ouverture mais ils possèdent aussi leurs **propres limites d'emploi.**

Cas des disques diamantés : le diamètre des disques diamantés varie de 300 à 1600 mm. Il est à noter que la profondeur de coupe correspond sensiblement au 2/5 du diamètre de la couronne. La profondeur de coupe maximale de ces appareils est donc de l'ordre de 0,65 m. Le sciage a lieu par passes successives de 30 à 120 mm de profondeur à une vitesse de l'ordre de 0,15 à 1,00 m/min suivant la profondeur de la passe et la résistance du mortier du joint.

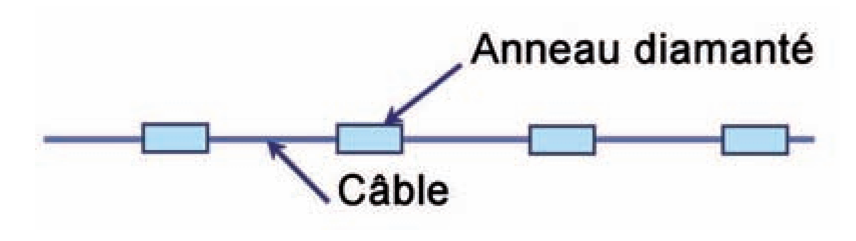


Figure n° 65 : schéma d'un câble diamanté pour sciage

Cas des câbles diamantés : la partie coupante est formée par des tronçons de câbles de 3 m de longueur réunis par des manchons. Chaque tronçon est constitué par un câble de 5 mm de diamètre sur lequel sont fixés (par exemple, par brasure à l'argent) des anneaux diamantés de 10 mm de diamètre à l'espacement de 25 mm. La vitesse du câble varie entre 0 et 30 m/s et sa tension de 0 à 150 kg. La surface sciée atteint environ 1 m^2/h. Cette technique, avec peu de bruits, sans vibrations ni chocs, permet des découpes de grandes dimensions, dans toutes les directions et même sous l'eau.

> La réalisation d'une coupure de capillarité est une opération délicate :

- il faut disposer d'un plan de sciage horizontal, par exemple le long d'un joint entre deux assises de pierres, ce qui limite pratiquement le procédé aux pierres de tailles, moellons assisés, briques… ;
- il faut procéder par plots successifs afin d'éviter tout tassement de la maçonnerie entraînant des désordres et le blocage du dispositif de sciage (par exemple, le décoincement d'un disque peut être obtenu par des vérins à introduire dans des trous carottés de chaque côté de la découpe) ;

- l'épaisseur de la pièce à scier peut être limitée par l'hétérogénéité de la maçonnerie intérieure de remplissage, qui est, le plus souvent, de moindre qualité que la maçonnerie de parement ;
- il ne faut pas que le matériau constituant la coupure étanche crée un plan de glissement préférentiel (par exemple, les plaques métalliques devront être rendues rugueuses).

> DOMAINE D'EMPLOI :

La barrière étanche réalisée dans une saignée est utilisée depuis de très nombreuses années dans le domaine du **bâtiment** et des **bâtiments historiques** pour assainir les murs. **C'est le procédé de plus efficace pour stopper les remontées d'humidité et de sels.**

Dans le domaine du génie civil et dans le cas des **murs de soutènement** et des **appuis de ponts en maçonnerie,** le domaine d'emploi est réduit. En effet :

- dans le cas des murs de soutènement, murs de tête, en retour, la barrière étanche risque de créer un plan de glissement. De plus, elle n'empêche pas l'eau d'arriver par les terres en contact avec la partie arrière des murs ;
- dans le cas des appuis d'un pont en maçonnerie, ce procédé pourrait être appliqué, avec **beaucoup de précautions,** par exemple, pour créer une coupure de capillarité dans une pile de faible ou de moyenne épaisseur si les autres procédés ne peuvent être utilisés ou ne peuvent résoudre le problème.

7.7.2.3.3 L'imperméabilisation dans la masse

Cette méthode consiste à introduire dans l'épaisseur de la maçonnerie un produit imperméabilisant permettant de boucher ou de tapisser les pores par lesquels s'effectuent les remontées d'eau. Ce produit peut être introduit à l'aide de flacons de produits (imprégnation par gravité) ou sous pression.

Les produits imperméabilisants appartiennent à différentes familles chimiques (résines époxy, silicates, acrylamides, siliconates de sodium ou de calcium, silicones, stéarates,…).

Ces produits doivent pouvoir polymériser rapidement en milieu confiné. Leur efficacité dépend, d'une part, de la bonne adaptation des caractéristiques du produit (fluidité, temps de polymérisation…) et, d'autre part, de la technologie de mise en œuvre en fonction de la nature du matériau à traiter.

Il est donc nécessaire de s'assurer par une **épreuve de convenance** à définir au **marché** que l'opération permet bien de créer une barrière étanche.

L'imprégnation par gravité et capillarité semble être plus efficace que le procédé par injection sous pression qui favorise des cheminements privilégiés.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

Il est recommandé de réaliser une imprégnation au niveau des joints horizontaux tous les 50 cm environ et de faire une imprégnation au minimum par bloc de pierre de taille. La règle est à adapter pour les maçonneries de briques.

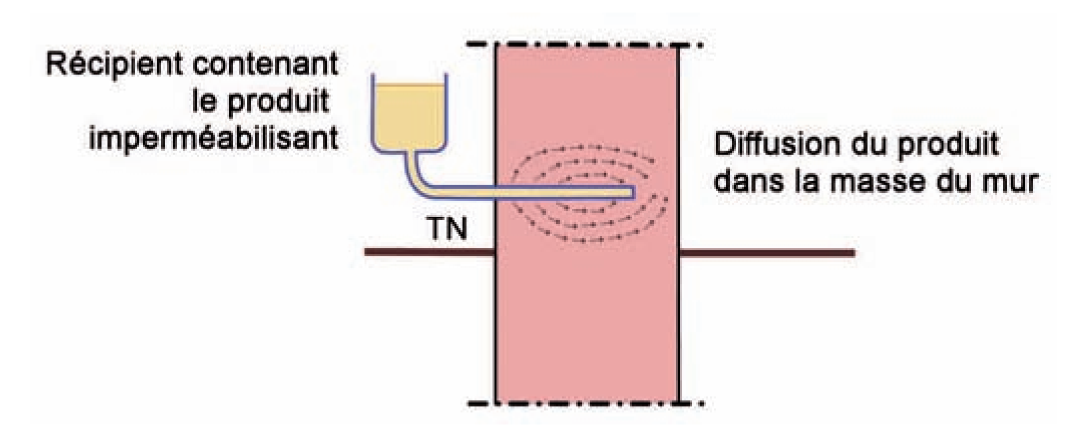


Figure n° 66 : principe d'imprégnation par gravité et capillarité

> DOMAINE D'EMPLOI :

Le procédé est d'une utilisation courante dans le **domaine du bâtiment** où les épaisseurs des murs à imprégner sont relativement faibles. Elle n'est applicable que si la **teneur en eau** de la maçonnerie ne dépasse pas **6% en volume.** Au-delà de ce seuil, il faut abaisser la teneur en eau, par exemple par des drains verticaux, avant d'imprégner le matériau.

Dans le domaine des ouvrages d'art[13] :

- **c'est la seule solution pour créer une coupure de capillarité dans la maçonnerie d'un appui de pont.** La difficulté provient des épaisseurs importantes à traiter. La solution est de traiter, par une injection classique avec encagement, tout le massif de fondation (se reporter à la partie du guide FABEM 6.3 consacrée aux réparations des fondations) puis, après durcissement du coulis, de venir, au-dessus de la zone injectée et du terrain naturel, imprégner par gravité une couche d'épaisseur suffisante pour créer une coupure étanche ;
- c'est aussi la solution pour les **murs de soutènement,** à condition de réaliser en complément un **drainage renforcé** sur la face arrière du mur.

[13] La coupure doit, normalement, disposée au-dessus des plus hautes eaux (PHE).

7.7.2.4 Les traitements qui ont pour but d'évacuer l'eau qui imprègne les fondations

7.7.2.4.1 Généralités :

> Les différents types de traitements pour évacuer l'eau qui imprègne les fondations sont les suivants :

- les procédés électriques ou électroniques :
  - l'électro-osmose passive **(traitement NON RECOMMANDÉ),**
  - l'électro-osmose active (B) et (MH),
  - l'électrophorèse (B) et (MH),
  - l'électro-osmose combinée à l'électrophorèse (B) et (MH),
  - l'assèchement électronique **(procédé récent manquant de retour d'expérience) ;**
- les siphons ou drains atmosphériques **(traitement NON RECOMMANDÉ) ;**
- les sous-enduits drainants (B), (MH) et (GC).

7.7.2.5 Tableau récapitulatif d'emploi des divers procédés destinés à lutter contre les remontées d'humidité et de sels

Rôle du traitement	Procédés	Bâtiment	Murs de soutènement	Appuis de ponts	Observations
Empêcher l'arrivée de l'eau	Galerie périphérique	Oui	Non	Rarement possible	
	Drains classiques horizontaux	Oui	Possible	Possible	
	Drains subhorizontaux	Possible	Possible	Possible	
	Drains horizontaux et verticaux	Oui	Oui	Rarement possible	
Empêcher l'eau de remonter	Barrière étanche avec saignée (fiable à 100%)	Oui	Non	Rarement possible	
	Imperméabilisation dans la masse	Oui	Oui + drainage arrière	Oui solution recommandée	Possible si la teneur en eau < 6%
Évacuer l'eau	Électro-osmose passive				Non efficace
	Électro-osmose active	Oui	Non utilisée	Non utilisée	Possible si la teneur en eau < 6% + entretien nécessaire
	Électrophorèse	Oui	Non utilisée	Non utilisée	
	Électro-osmose + électrophorèse	Oui	Non utilisée	Non utilisée	
	Siphons ou drains atmosphériques				Non efficace
	Sous-enduits drainants	Possible avec coupure étanche ou imprégnation dans la masse	Non utilisée	Non utilisée	Durée de vie limitée

Tableau n° 9 : conditions d'emploi des divers procédés de lutte contre les remontées d'humidité et de sels

7.7.2.5.1 Les procédés électriques ou électroniques

7.7.2.5.1.1 L'électro-osmose passive (traitement NON RECOMMANDÉ)

Rappels de physique : *l'électro-osmose correspond au mouvement d'un liquide sous l'action d'un courant électrique au travers d'une paroi poreuse, le mouvement se produisant du pole (+) vers le pôle (-).*

Cette méthode est basée sur l'utilisation de tensions électriques pour faire migrer l'eau en sens inverse de la remontée capillaire. Dans la pratique, on relie à la terre (-) des électrodes (+) en contact avec la maçonnerie. En l'absence de source annexe de courant (pile, batterie), elle est dite **«passive».**

7.7.2.5.1.2 L'électro-osmose active (B) et (MH)

L'électro-osmose est dite **«active»** si l'on utilise une source annexe de courant (pile, batterie).

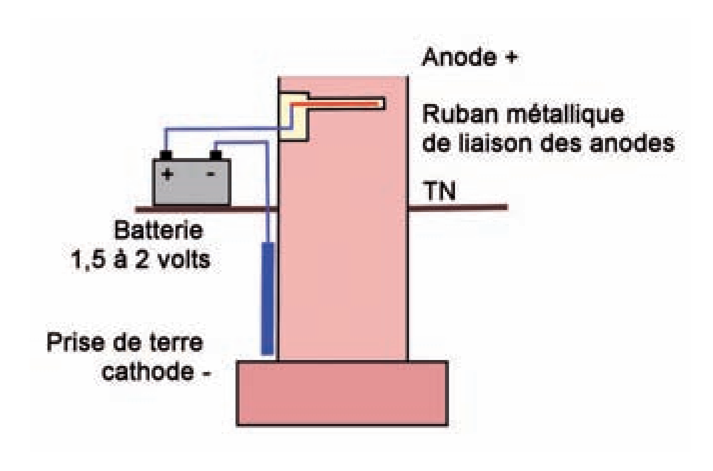


Figure n° 67 : schéma de principe d'une électro-osmose active

> L'électro osmose active demande un entretien permanent :

- vérification dans le temps l'alimentation en courant continu ;
- remplacement régulier des électrodes car leur corrosion est importante et rapide. **ATTENTION,** la corrosion des électrodes, qui entraîne leur gonflement, risque de cisailler horizontalement la maçonnerie en suivant la ligne des électrodes.
- mesure de la différence de potentiel entre les deux lignes d'électrodes pour vérifier que le système fonctionne
- contrôle de l'évolution du taux d'humidité dans la maçonnerie qui doit diminuer (la résistivité de la maçonnerie est liée au taux d'humidité).

7.7.2.5.1.3 L'électrophorèse (B) et (MH)

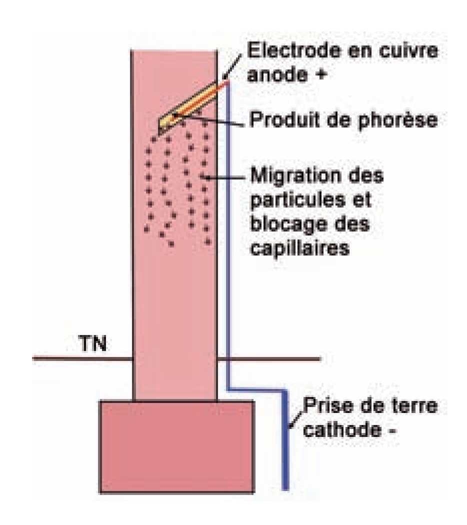


Figure n° 68 : schéma de principe d'une électrophorèse

> ***Rappels de physique : l'électrophorèse*** *correspond au mouvement de particules en suspension dans un liquide sous l'action d'un courant électrique, le mouvement se produisant du pole (+) vers le pôle (-).*

Cette méthode permet de remédier à une interruption du fonctionnement d'une installation d'électro-osmose en complétant la mise en œuvre de cette dernière par introduction dans les pores du matériau d'un produit imperméabilisant spécifique qui migrera sous l'effet du courant électrique (le produit imperméabilisant contient des particules métalliques qui permettent sa migration dans le champ électrique).

7.7.2.5.1.4 Électro-osmose couplée à l'électrophorèse (B) et (MH)

> Ce procédé combine les deux méthodes ci-avant présentées :

■ Première phase : action de l'électro-osmose

Grâce à l'implantation d'électrodes, la polarité naturelle mur-sol est inversée sans apport d'énergie et l'eau change le sens de sa migration. Le nouveau champ électrique refoule l'eau vers le bas (du pôle positif vers le pôle négatif).

■ Deuxième phase : action de l'électrophorèse

Conjointement à la mise en place des électrodes, il est fait apport de produits spécifiques de phorèse (ajout de particules métalliques à la résine) qui, sous l'effet du nouveau champ électrique créé, sont entraînés dans les capillaires du mur et provoquent ainsi leur obturation.

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

7.7.2.5.1.5 Assèchement électronique

Ces procédés inversent automatiquement et quand c'est nécessaire les champs électromagnétiques existant dans les murs soumis à des remontées capillaires et ainsi modifient le sens de l'humidité ascensionnelle.

Pour cela, comme dans les procédés précédents, des électrodes sont implantées dans la maçonnerie, reliées entre-elles et à un boitier électronique. L'appareil va mesurer en permanence la résistivité électrique du mur et envoie chaque fois que le besoin s'en fera sentir une charge électrique nécessaire pour repousser l'eau.

> ***Rappel :*** *ce procédé récent manque de retour d'expérience pour valider ou non son efficacité.*

7.7.2.5.1.6 Domaine d'emploi des procédés électriques ou électroniques

> ***ATTENTION : l'électro-osmose passive est inefficace*** *pour lutter contre les remontées d'eau par capillarité.*

L'électro-osmose active, l'électrophorèse et l'assèchement électronique permettent seulement d'abaisser le gradient d'humidité de la maçonnerie. **Si la teneur en eau de la maçonnerie dépasse 6% en volume,** il est indispensable d'abaisser cette teneur en eau (par exemple par des drains combinés) avant de pouvoir mettre en œuvre un des traitements électrique ou électronique.

Elles présentent l'inconvénient de nécessiter un entretien permanent, en particulier à cause de la corrosion des électrodes.

Ces procédés ne sont pas utilisés pour les **appuis de ponts en maçonnerie, en particulier à cause des épaisseurs à traiter et de l'entretien contraignant.** Même constatation pour les **murs de soutènement** dont la face arrière devrait, en sus, être drainée.

7.7.2.5.2 Siphons ou drains atmosphériques (pour mémoire traitement NON RECOMMANDÉ)

> La description qui suit est donnée à titre informatif :

Les siphons ou drains atmosphériques sont constitués, soit de tubes en terre cuite scellés dans la maçonnerie, soit de tubes en matière plastique. Ces tubes sont inclinés vers l'extérieur. Leur principe est basé sur un échange qui devrait avoir lieu entre l'air sec et l'air humide : l'air humide plus lourd que l'air sec sortant du tube en faisant entrer de l'air sec et ainsi de suite.

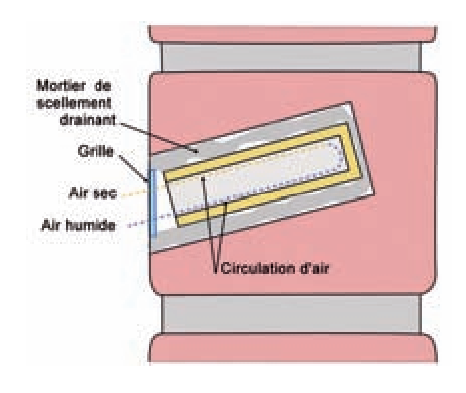


Figure n° 69 : schéma d'un siphon ou drain atmosphérique



Photo n° 57 : vue de la grille d'un drain atmosphérique *(crédit photo D. Poineau)*

> DOMAINE D'EMPLOI :

ATTENTION : les siphons ou drains atmosphériques sont inefficaces *pour lutter contre les remontées d'eau par capillarité*[14]*.*

7.7.2.5.3 Les sous-enduits drainants

Il s'agit **de mortiers prêts à l'emploi** qui présentent la particularité d'avoir **une forte capillarité,** laquelle relie un grand nombre de très petites cavités. Les capillaires permettent à l'eau de s'évaporer rapidement et les cavités servent à stocker les sels et à permettre leur expansion. Ces mortiers ont été mis au point pour les maçonneries anciennes qui ne comportent pas de coupures de capillarité (murs porteurs, murs de clôture…).

Bien entendu, lorsque les capillaires et les cavités sont complètement saturés par les sels, il faut démolir le sous-enduit et le remplacer. Ces enduits ont donc une durée de vie limitée.

[14] Cf. la publication des résultats des essais effectués conjointement par le CEBTP et l'Union Nationale de la Maçonnerie des différents procédés de lutte contre les remontées capillaires lors du colloque «le patrimoine en brique» organisé à Albi par la section française de l'ICOMOS (Conseil International des Monuments et Sites) entre le 17 et le 19 septembre 1992.

> DOMAINE D'EMPLOI :

Sur une maçonnerie ancienne soumise à des remontées d'humidité, il n'est pas possible de mettre en œuvre un enduit traditionnel pour limiter les rentrées d'eau. Ces sous-enduits peuvent être une solution efficace, surtout s'ils sont couplés à une barrière étanche ou à l'imperméabilisation dans la masse de la tranche au niveau du terrain naturel.

Ces sous-enduits ne sont pas utilisables dans le **domaine des murs et appuis de ponts en maçonnerie.**

7.7.2.6 Essais et contrôles de l'efficacité des traitements

> Les contrôles d'efficacité de la méthode mise en œuvre nécessitent des investigations à faire réaliser par un laboratoire ou un bureau d'études spécialisé. Ces investigations sont identiques à celles effectuées lors du diagnostic à savoir :

- **prélèvements de matériaux** que l'on fait sécher pour mesurer leur teneur en eau. Par exemple, dans un mur, il est nécessaire de distinguer les teneurs en eau de l'enduit, du mortier de pose et de la pierre ou de la brique. Ces mesures doivent être réalisées à différentes hauteurs, en surface et dans l'épaisseur du mur, aux **emplacements où les mesures initiales avaient été réalisées.** Elles permettront de savoir si les circulations d'eau ont cessé.
- **compléter ces mesures ponctuelles en utilisant des humidimètres capacitifs,** à condition de réaliser un étalonnage entre les valeurs électriques obtenues et les résultats de teneur en eau déterminés par prélèvements. Cela permet de comparer les gradients d'humidité des différents matériaux constituant la maçonnerie avant et après le traitement.

Il appartient au **marché** de fixer le nombre et les emplacements des mesures.

7.7.3 LES TRAITEMENTS DESTINÉS À RÉPARER LES CONSÉQUENCES DES REMONTÉS D'HUMIDITÉ ET DE SELS

> Dans le domaine des monuments historiques, deux méthodes sont utilisées (se reporter au chapitre 9 du guide technique des monuments historiques) :

- le brossage, qui permet d'évacuer une bonne partie des sels superficiels ;
- le dessalement, par exemple avec l'aide de compresses de pulpe de papier appliquées sur un mur préalablement humidifié.

La profondeur de dessalement par la méthode des compresses dépasse rarement 5 à 10 cm alors que, dans certains cas, l'épaisseur totale d'un mur peut être chargée en sels. De plus, il s'agit d'une opération de longue durée car les compresses doivent être remplacées au fur et à mesure qu'elles se saturent en sels et s'assèchent. **Enfin, si aucun autre traitement empêchant les remontées d'humidité n'est effectué, les désordres vont réapparaître.**

Dans le domaine des murs de soutènement et des appuis de ponts en maçonnerie, ces phénomènes de remontées capillaires et de sels ne concernent que peu d'ouvrages. Aussi, sauf s'ils sont classés «monument historique», il semble préférable, après avoir établi des **coupures de capillarité par imprégnation dans la masse** (solution réalisable dans la plupart des cas), de privilégier le **remplacement partiel ou total des pierres des parties dégradées,** voire leur réparation par un mortier spécifique. Ce sont les études préliminaires (types de sels, teneurs en sels, profondeur de pénétration...) qui permettent de connaître l'importance des démolitions reconstructions à effectuer.

Rappel : *le fascicule technique des monuments historiques limite les teneurs en sels comme suit : Chlorures ≤ 0,1% - Nitrates ≤ 0,5% - Sulfates en provenance du gypse ≤ 5% - Sulfates associé avec sodium, potassium magnésium... ≤ 0,1%.*

Il appartient au **marché** de préciser les réparations à effectuer sur les parties endommagées à partir des informations recueillies lors des études préliminaires.

7.7.4 RÉCEPTION DES TRAVAUX (pour mémoire)

Se reporter au chapitre 5.11 guide FABEM 6.1.

8

Support de chape en mortier ou béton

8.1 Généralités

La réalisation d'un **support de chape en mortier ou micro-béton** est nécessaire dans le cas de la réalisation d'une **chape en position basse. Une contre-voûte d'extrados** peut aussi assurer le rôle de support de chape. Le support, comme la contre-voûte, par ses formes de pentes, doit permettre le recueil et l'évacuation des eaux qui arrivent sur la chape vers les dispositifs d'évacuation des eaux.

Il convient de consulter la 7ème partie du présent guide relative à la protection contre les eaux et la 5ème partie du guide FABEM 6.3, qui traite de la contre-voûte d'extrados.

*Il est rappelé que **la formule du mortier ou du micro-béton doit être compatible avec la maçonnerie** existante.*

La réalisation de tels travaux est très voisine de ceux d'une contre-voûte à l'extrados d'une voûte existante.

8.2.1 MISE EN ÉTAT DE RECETTE

La mise en état de recette a lieu après **l'enlèvement des matériaux de remplissage** et **le relevé contradictoire de l'état de l'extrados de la ou des voûtes.** Cette opération est importante car, en effet, de cette opération, dépendront l'adhérence du mortier et donc le parfait accrochage du support de chape.

Cette mise en état de recette correspond simplement à l'élimination des éléments impropres à l'adhérence, fines particules, éléments d'origines différentes de celle du support principal, (végétal, animal), éléments instables. Il faudra également obtenir un relief le plus acéré et le plus propre possible. Elle est exécutée au marteau piqueur ou bouchardeur. L'opération se termine par une purge et un nettoyage par soufflage à l'air et à l'eau.

Un décapage à l'eau sous haute pression peut être également envisagé. La souplesse de réglage par orientation du jet permet de s'adapter à la nature et à la qualité du relief. Il faudra, ici aussi, permettre une parfaite élimination de l'eau.

Un nouveau relevé de l'état de l'extrados est à faire à la fin de la mise en état de recette. Ce relevé peut conduire à adapter le programme des travaux si certaines zones de l'extrados présentent des désordres, à augmenter l'épaisseur du support de chape…

8.2.2 L'ÉPINGLAGE

Afin d'améliorer l'adhérence à l'interface entre la voûte et le support de chape mais sous réserve que l'extrados de la voûte présente de bonnes qualités mécaniques, un **épinglage** est mis en œuvre entre la voûte et le support de chape.

Cet épinglage est constitué de fer à béton, généralement sous forme d'armatures à haute adhérence de diamètre Ø de 8 mm, scellées au préalable dans des forages pratiqués au travers du support. Ces forages ont un diamètre d'environ 2 fois celui de l'épingle et une profondeur égale à environ 10 à 15 fois son diamètre. Elles y sont scellées avec un mortier de scellement à base de liant hydraulique ou de résines. Prévoir de l'ordre de 4 épingles au mètre carré au minimum.

L'épingle, une fois scellée, est recourbée à l'horizontale sur environ 10 à 15 cm pour servir de support à un treillis soudé anti-fissures de diamètre et de maillage adapté à l'épaisseur de la chape.

Rappel : *l'attention est attirée sur l'intérêt de l'utilisation de* ***matériaux non corrodable,*** *ce qui permet d'augmenter la durée de vie de la réparation et de l'ouvrage.*

8.2.3 MISE EN ŒUVRE DU MORTIER OU DU BÉTON

La mise en place du mortier ou du béton se fait en respectant les exigences du **fascicule 65 du CCTG.** Dans le cas des voûtes en plein-cintre et surtout de celles en arc brisé, il faut prévoir de réaliser le bétonnage dans un coffrage du fait de la forte inclinaison de l'extrados de la voûte.

Pendant la phase des travaux, une protection efficace contre les eaux de pluie ou le soleil est nécessaire. De plus, ces travaux doivent être réalisés lorsque les conditions atmosphériques sont favorables (absence de gel et de pluie). **En cas de pluie,** il faut mettre en place une protection, ce qui est relativement facile, par exemple au moyen de poutrelles appuyées sur les murs et de bâches.

Pour éviter les fissures par les **différents retraits,** il faut protéger le support de chape contre **l'ensoleillement direct.** De plus, une **cure** doit être effectuée (se reporter au **fascicule 65 du CCTG).**

La chape ne doit être réalisée qu'après durcissement et séchage du support en mortier ou béton en respectant les règles du **titre 1 du fascicule 67 du CCTG.**

Il est rappelé que les supports en mortier et béton doivent satisfaire à des exigences en matière de texture (rugosité) différentes suivant le type de chape mais aussi des formes de pente pour permettre le recueil et l'évacuation des eaux. Le réglage sera fait conformément à la géométrie attendue, à l'aide de piges et de règles mises en place pendant la préparation. La finition de surface sera traitée de façons différentes, suivant la destination attendue (par exemple : brut taloché fin, tiré à la règle…).

La mise en place du matériau de remplissage avec la réalisation des superstructures termine les travaux.

8.2.4 ESSAIS ET CONTRÔLES

Le contrôle de l'épinglage peut être effectué par des **essais de traction.** Attention, lors d'un tel essai, la barre scellée peut se rompre et être violemment projetée. Le personnel doit rester à distance de la zone de test.

Les autres essais de contrôles, qui peuvent porter sur la mise en place des armatures, la qualité du béton ou du mortier, l'enrobage des armatures, la cure, la réalisation de la chape…relèvent des **fascicules 65 et 67 du CCTG.** Il appartient au **marché** de fixer les contrôles et essais à effectuer.

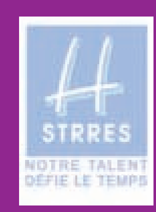
Se reporter au chapitre 5.11 guide FABEM 6.1.

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES FIGURES

UNE EDITION DU SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS SPÉCIALISTES DE TRAVAUX DE RÉPARATION ET RENFORCEMENT DE STRUCTURES (STRRES) / FEVRIER 2011

LISTE DES TABLEAUX



Le comité de pilotage des guides «Maçonnerie» était composé de :

Christian TRIDON, président du STRRES
Bernard FARGEOT, président d'honneur du STRRES
Hubert LABONNE, vice- président d'honneur du STRRES

Didier CHABOT	COFEX ILE-DE-FRANCE
Gil CHARTIER	RCA
Gérard COLLE	COFEX LITTORAL
Jean-Pierre GADRET	SOLETANCHE BACHY
Christian TOURNEUR	FREYSSINET

Les guides «Maçonnerie» ont été rédigés par :

Daniel POINEAU (expert) et **Alain BOUINEAU** (expert)

avec la participation de :

Jean-Pierre LEVILLAIN	(JPL conseil)
Gilles PINGANAUD	(PAREXLANKO)
Christian TRIDON	(ARTEM)
Gérard COLLE	(COFEX LITTORAL)
Bernard PLU	(SNCF)

Ce document a été réalisé avec le concours
de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP)
et de la Fédération Française du Bâtiment (FFB)





| Retour au sommaire |